JACQUES HUBSCHMAN

MORPHOGENESE ET PEDOGENESE QUATERNAIRES DANS LE PIEMONT DES PYRENEES GARONNAISES ET ARIEGEOISES

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE TOULOUSE-LE MIRAIL

– LE 9 NOVEMBRE 1974 –

ATELIER
REPRODUCTION DES THESES
UNIVERSITE LILLE III
LILLE

DIFFUSION
LIBRAIRIE HONORE CHAMPION
7, QUAI MALAQUAIS
PARIS

1975

COMPOSITION DU JURY

Doyen A. JOURNAUX, *Président, Professeur à l'Université de Caen,*
teur du Centre de Géomorphologie du C.N.R.S.
TAILLEFER, *Professeur, Président de l'Université de Toulouse-Le Mirail.*
ENJALBERT, *Professeur à l'Université de Bordeaux III.*
RUELLAN, *Professeur à l'E.N.S Agronomique de Rennes.*
KAYSER, *Professeur à l'Université de Toulouse-Le Mirail.*
CAVAILLE, *Collaborateur principal au Service de la Carte Géologique de France*

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549604_0001

JACQUES HUBSCHMAN

MORPHOGENESE ET PEDOGENESE QUATERNAIRES DANS LE PIEMONT DES PYRENEES GARONNAISES ET ARIEGEOISES

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE TOULOUSE-LE MIRAIL

— LE 9 NOVEMBRE 1974 —

ATELIER
REPRODUCTION DES THESES
UNIVERSITE LILLE III
LILLE

DIFFUSION
LIBRAIRIE HONORE CHAMPION
7, QUAI MALAQUAIS
PARIS

1975

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

La loi du 11 mars n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

ISBN 2-252-01690-6

© Jacques HUBSCHMAN, 1975

"L'esprit humain comprend difficilement la signification pleine et entière d'une durée d'un million d'années; il ne peut ni percevoir ni totaliser les résultats complets de modifications nombreuses et insignifiantes accumulées au cours d'un nombre presque infini de générations. Nous ne voyons rien de ces légers changements en cours, jusqu'à ce que la main du temps ait marqué l'écoulement des âges ..."

Charles DARWIN

I N T R O D U C T I O N

Le Midi garonnais et ariégeois offre un ensemble de conditions extrêmement favorables à l'étude du Quaternaire : haute barrière montagneuse au sud, englacée une ou plusieurs fois au cours du Quaternaire ; vaste bassin molassique de l'avant-pays, où se sont ouvertes de larges vallées avec leurs nappes alluviales étagées et dont les cours d'eau, à l'amont, s'enracinent précisément dans les secteurs marqués par la présence des glaciers.

Très tôt, géologues et géographes en ont fait leur terrain de recherches. Depuis les premières grandes ébauches des "anciens", entre autres celles de M. BOULE (1895, 1904), E. CHAPUT (1924, 1927), G. DENIZOT (1922, 1923, 1948), L.A. FABRE (1902, 1904), D. FAUCHER (1932, 1937), E. HARLE (1895, 1898), A. PENCK (1885), de nombreux travaux se sont succédé , en particulier ceux de L. GORON (1941), F. TAILLEFER (1951a), H. ENJALBERT (1960), pour ne citer que les plus marquants. Enfin, ces dernières années, les feuilles de la carte géologique au 50 000°, dressées par A. CAVAILLE (1), inventorient minutieusement une large partie des formations quaternaires de l'avant-pays garonnais et ariégeois. En somme, l'essentiel du travail de reconnaissance, de délimitation et de caractérisation géomorphologique est aujourd'hui très avancé, à quelques secteurs et à quelques retouches près (en particulier dans la zone pyrénéenne).

Il reste cependant que, d'un auteur à l'autre, les interprétations divergent notablement (F. TAILLEFER, 1969 a). L'attribution des nappes à l'un ou l'autre étage de la stratigraphie alpine est loin de faire toujours l'unanimité, tandis que les rapports entre formations glaciaires et terrasses alluviales ne sont pas très nettement

(1) Notamment les feuilles de Montauban, Beaumont-de-Lomagne, Grenade, Toulouse-ouest, Toulouse-est, Muret, Cazères, Saverdun.

établis. De même, comme partout ailleurs du reste, l'évolution morphoclimatique au cours des temps quaternaires reste-t-elle âprement discutée : nombre de glaciations, caractères climatiques des périodes quaternaires anciennes, relations entre phases climatiques et édification des nappes... Autant de problèmes encore largement controversés. Il est vrai que les critères utilisés dans les travaux antérieurs pour classer et interpréter les formations quaternaires sont fort divers. Pour les uns, comme L. GORON (1941), l'altitude relative des formations alluviales constitue un indice stratigraphique décisif. Pour d'autres, notamment H. ENJALBERT (1960), ce sont les formes mêmes des niveaux de remblaiement et leur profil transversal qui discriminent, en première analyse, les nappes fluvio-glaciaires récentes des "glacis préglaciaires" plus anciens. D'autres encore, à l'instar de A. CAVAILLE (1969a) accordent aux industries préhistoriques une valeur stratigraphique déterminante pour l'établissement d'une chronologie relative des formations alluviales.

Lorsque, voici maintenant quelques années, il s'est agi pour nous d'aborder l'étude des terrains quaternaires garonnais et ariégeois à travers celle des sols et des altérations, nous eûmes, dès nos premières observations, la conviction que les faciès de différenciation pédologique des nappes constituaient un fil directeur d'importance majeure. La méthode, certes, n'est pas nouvelle et nous l'avions nous-mêmes utilisée, quoique dans un contexte fort différent, à l'occasion de nos premières recherches (J. HUBSCHMAN, 1967,1971a). Du reste, dès le début du siècle, PENCK et BRUCKNER comparaient déjà les différents états de décomposition du matériel des nappes alluviales alpines. Mais c'est surtout depuis une quinzaine d'années que les applications de la pédologie à l'étude du Quaternaire se sont multipliées, en France notamment : on peut évoquer en particulier les recherches de F. BOURDIER (1961)

et l'ensemble de travaux des pédologues de la C.N.A.B.R.L. (1) et du Service d'Etudes des Sols de l'I.N.R.A. à Montpellier. La bordure des Pyrénées n'a pas échappé à ce mouvement et les études de H. ALIMEN (1964), en Bigorre et dans le Lannemezan, ont trouvé leur prolongement dans la récente publication de M. ICOLE (1973).

Dans la région garonnaise et ariégeoise proprement dite, presque tous les auteurs ont certes fait état d'observations relatives aux sols et aux altérations des dépôts quaternaires, mais les données en sont restées le plus souvent rudimentaires et très incomplètes. Si, en revanche, A. CAVAILLE (1951, 1965, 1969a et notices des cartes géologiques au 50 000°) s'est penché, de façon plus systématique, sur certains caractères d'évolution pédologique des nappes alluviales, ces observations demeurent cependant encore fragmentaires et les conclusions qu'elles inspirent n'emportent pas toujours la conviction.

Ainsi, le domaine garonnais et ariégeois était-il pratiquement vierge quant à l'application des méthodes de la pédologie à l'étude du Quaternaire. Combler cette lacune, rassembler les principaux résultats et tenter d'en dégager leur signification, tel est donc l'objet du travail présenté ici.

Le sujet.

Il s'agit, pour l'essentiel :

- de caractériser les sols et les types d'altération sur et dans les matériaux des nappes détritiques quaternaires ;

- de tenter, à la lumière des données pédologiques, l'établissement des principales corrélations entre formations éloignées ou séparées les unes des autres, en-

(1) Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône-Languedoc. Références nominales dans le texte et en bibliographie.

tre zone pyrénéenne et avant-pays, entre dépôts glaciaires ou fluvio-glaciaires des basses vallées montagnardes et nappes fluviatiles d'aval, et de leur assigner une place dans la stratigraphie quaternaire alpine ;

- d'aborder les problèmes paléoécologiques et plus spécifiquement paléoclimatiques, liés à la genèse des altérations et des sols .

- de proposer enfin, sur ces bases, un schéma de l'évolution morphoclimatique au cours du Quaternaire.

L'aire d'étude.

Le terrain étudié correspond, pour l'essentiel, aux vallées de la Garonne (jusqu'au confluent tarnais) et de l'Ariège, ainsi qu'à celles de certains de leurs affluents. Dans l'avant-pays, quelques rapides incursions seront faites par place, dans les secteurs caractéristiques du Terrefort molassique, afin de disposer d'un terme de comparaison commode entre l'évolution des couloirs alluviaux et celle des interfluves. Dans la zone pyrénéenne, on s'arrêtera là où formations glaciaires ou fluvio-glaciaires garonnaises et ariégeoises entrent en contact avec les nappes alluviales fluviatiles proprement dites (bassins de Barbazan-Seilhan et de Foix-Tarascon). Entre Garonne et Ariège, on se limitera aux croupes de piémont attribuées au Pliocène et à quelques secteurs particulièrement significatifs des vallées secondaires, comme le Ger ou le Salat.

Ce choix peut se justifier de la façon suivante.

- Observations et analyses n'ont de réelle portée que si, nombreuses et répétées, elles ressortissent à des stations point trop éloignées les unes des autres, de telle sorte que, pour un type d'étude donné, elles constituent un réseau suffisamment dense de relevés : quantitativement (gain d'information) et qualitativement

(observation des phénomènes dans leur continuité ou, au contraire, mise en évidence des discontinuités), un quadrillage relativement serré du terrain reste une impérieuse nécessité. Ce fait nous semble peu compatible et avec le choix d'une région trop vaste et avec celui d'une étude exhaustive de l'espace : ce ne peut être là que le travail d'une équipe dotée de solides moyens.

- A l'ouest, le piémont des Pyrénées centrales et de la Gascogne gersoise est désormais bien connu (F. TAILLEFER, 1951a, H. ALIMEN, 1964, P. BARRERE, 1953, 1963, J. PATIN, 1966 et surtout M. ICOLE, 1973) : Lannemezan, vallée de la Neste en font partie. Aussi, notre domaine s'arrête-t-il à la confluence de la Neste et de la Garonne, n'était quelques sondages exploratoires à l'amont de Montréjeau.

- Au nord, le confluent du Tarn marque une claire limite : au-delà, le régime de la Garonne, ses constructions alluviales (L. RIEUCAU, 1958a), l'importance des apports issus du Massif Central, l'apparentent déjà beaucoup plus à la moyenne Garonne de l'Agenais qu'à la région sous-pyrénéenne proprement dite.

- Vers l'est, une fois franchie la vallée de l'Ariège, on quitte rapidement le Midi garonnais pour pénétrer dans un autre domaine, celui des pays de l'Aude, que leur climat méditerranéen, leur structure géologique et géomorphologique, individualisent nettement. Ils forment les marches occidentales du Languedoc méditerranéen où les problèmes de pédologie du Quaternaire, on l'a vu, sont étudiés d'assez longue date.

- Vers le sud, enfin, dans les hautes vallées, les possibilités de la pédologie du Quaternaire sont très réduites : c'est là le domaine privilégié de la morpholo-

gie glaciaire.

La démarche.

La mise en jeu de méthodes et de techniques qui relèvent surtout (mais pas exclusivement) de la pédologie ou de disciplines connexes, ne doit pas faire illusion : l'esprit dans lequel ce travail a été conduit, de même que son aboutissement, ressortissent avant toute chose aux préoccupations de la géographie physique. La prise en compte des phénomènes de pédogénèse et d'altération ne constitue qu'un moyen, assurément privilégié, mais le but poursuivi est celui de toute géographie physique soucieuse d'expliquer la formation des "paysages" quaternaires.

Cependant, il ne s'agit pas ici, rappelons-le, d'une étude exhaustive de l'espace et le lecteur ne doit pas s'attendre à trouver dans les pages qui suivent un exposé détaillé concernant la structure, le relief, le modelé ou le réseau hydrographique, par exemple. Au demeurant, la plupart de ces questions ont été largement examinées dans des publications antérieures, notamment M. CASTERAS (1933), L. GORON (1941, 1942), F. TAILLEFER (1951a), H. ENJALBERT (1960), auxquelles on voudra bien se référer. De même, on pourrait s'étonner que, dans un travail où la pédogénèse occupe une place si importante, l'analyse du climat actuel ait été négligée (1). Là encore, nous avons jugé que l'orientation de notre étude ne justifiait pas un exposé spécifique, les conditions climatiques régnant aujour-

(1) Il en va de même pour celle du couvert végétal, mais celui-ci sera cependant sommairement évoqué dans les principales fiches de profil rassemblées en annexe.

d'hui dans la région étant supposées connues (1) : elles seront néanmoins schématiquement évoquées à propos de l'évolution postglaciaire des dépôts récents.

En définitive, puisque creusement saccadé des cours d'eau, remblaiements alluviaux étagés dans l'espace et dans le temps et constructions morainiques étalées sur la bordure montagneuse, caractérisent au premier chef l'ère quaternaire, on est fondé à croire que les enseignements tirés de l'étude des sols et des altérations qui y sont associées revêtent une portée suffisamment générale. C'est pourquoi notre souci fut d'aller à l'essentiel et de concentrer les efforts là où la pédologie du Quaternaire semble devoir rendre les plus grands services, c'est-à-dire d'abord sur les principales nappes détritiques édifiées depuis la fin du Tertiaire.

Ainsi défini, notre travail se présente de la façon suivante.

- Une première partie, nécessairement très brève, est consacrée au cadre morphologique de la pédogénèse : bref aperçu de la structure géologique d'ensemble et rappel des principaux caractères des formations quaternaires, telles qu'elles sont aujourd'hui reconnues.

- Dans la seconde partie, après avoir examiné la composition et l'origine des roches-mères, on passe en revue les types de sol et d'altération développés dans les matériaux quaternaires. L'accent est mis en particulier

(1) On pourra se reporter en particulier à H. GAUSSEN (1934), M. GARNIER (1967) et aux documents de synthèse de l'Atlas Midi-Pyrénées (B4, Berger-Levrault, Paris, 1970).

sur :

- l'origine des limons ;
- la différenciation des profils dans les couvertures limoneuses ;
- l'évolution des nappes graveleuses altérées.

- La troisième partie concerne l'interprétation des faits.

- Dans une première section, après avoir discuté les principes directeurs des corrélations, on envisage le raccordement des terrains quaternaires à la stratigraphie glaciaire alpine.

- La deuxième section a d'abord pour objet de rechercher quelle est la part des variations climatiques passées dans le développement des faciès d'altération et de pédogénèse. La discussion sera ensuite étendue à la question des paléosols et le dernier chapitre correspond à une tentative de synthèse consacrée aux rapports entre pédogénèse, morphogénèse et paléoclimats quaternaires.

Figure 1 - Piémont et avant-pays garonnais et ariégeois : croquis de localisation

-1. Pyrénées - 2. Massif central, bordure sédimentaire et molasses de l'Agenais - 3. Terrains molassiques du Terrefort et de la Gascogne gersoise - 4. Plateau de Lannemezan - 5. Dépression périphérique de la Montagne Noire - 6. Grands couloirs alluviaux.

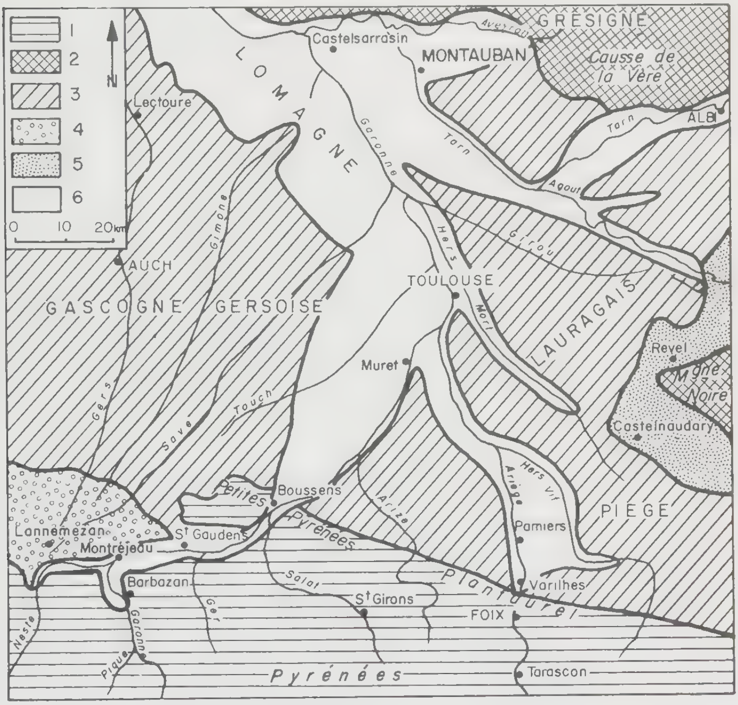


FIGURE 1

PREMIERE PARTIE

LE CADRE MORPHOLOGIQUE DE LA PEDOGENESE

Aperçu général

C H A P I T R E   I

LE VERSANT NORD DES PYRENEES GARONNAISES ET ARIEGEOISES

LE VERSANT NORD DES PYRENEES GARONNAISES ET ARIEGEOISES (1).

1 - Bref aperçu structural et lithologique.

Pour définir en quelques lignes le cadre géologique des Pyrénées garonnaises et ariégeoises, le schéma structural d'ensemble, tel qu'il a été proposé par M. CASTERAS (1933), constitue un canevas commode. Du sud au nord, on distingue en effet les secteurs suivants (fig. 2).

A. La zone axiale, au coeur des Pyrénées, correspond aux terrains primaires du socle hercynien. Elle est formée d'un ensemble de sédiments variés qui, du Cambrien au Carbonifère, ont été le plus souvent métamorphisés et par de larges massifs granitiques (Maladetta, Vic-de-Sos).

Roches cristallines, comme granites, gneiss ou migmatites y abondent et, si les quartzites y sont moins répandus qu'à l'ouest de la Neste, les divers types de phyllades et de schistes, les grès, les calcaires et les dolomies, y sont largement représentés. Dans cette zone au relief vigoureux, où se détachent quelques-uns des plus hauts sommets pyrénéens (Pic d'Aneto, 3 404 m), la Garonne, l'Ariège et leurs affluents montagnards majeurs ont établi une part importante de leurs bassins d'alimentation, dont les caractères se retrouvent précisément dans la composition pétrographique des nappes alluviales d'aval.

(1) Pour la présentation de cette première partie, outre les travaux mentionnés en introduction, on s'est inspiré des cartes géologiques existantes, notamment les feuilles disponibles au 50 000° couvrant l'avant-pays molassique, déjà citées, et les feuilles au 80 000° de Saint-Gaudens, Pamiers, Foix, Bagnères-de-Luchon, au 320 000° de Toulouse et Rodez, ainsi que certains documents spécialisés, comme la carte géomorphologique détaillée de Montréjeau-sud-ouest au 50 000° (C.N.R.S., R.C.P. n° 77, 1970).

Figure 2 - Le versant nord des Pyrénées garonnaises et ariégeoises : esquisse structurale (partiellement d'après M. CASTERAS, 1933).

- 1. Zone axiale - 2. Massifs primaires nord-pyrénéens - 3. Couverture secondaire plissée antécénomanienne - 4. Terrains du Crétacé supérieur et de l'Eocène - 5. Molasses - 6. Principaux plateaux de piémont - 7. Grands couloirs alluviaux.

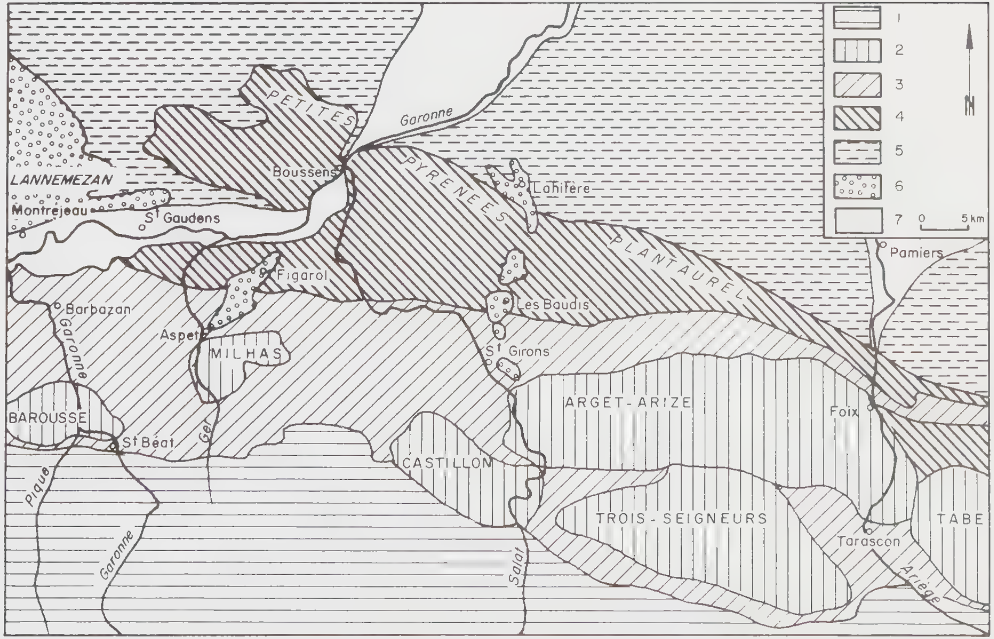


FIGURE 2

B. Les massifs primaires nord-pyrénéens affleurent de façon discontinue dans la zone de la couverture secondaire, depuis l'ouest de la Garonne jusqu'à l'est de l'Ariège : massif de la Barousse, traversé par la Garonne ; massif d'Aspet-Milhas, drainé par le Ger et le Job ; massif de Castillon, d'où descendent une partie des affluents du Salat ; massifs des Trois-Seigneurs, de l'Arize et de Tabe, qui alimentent pour une part l'Ariège, le Salat et certains de leurs affluents.

Formés de granites, gneiss et migmatites et de séries sédimentaires où schistes et calcaires abondent, ils donnent généralement des reliefs bien moins vigoureux que dans la zone axiale : ces massifs dessinent le plus souvent de lourdes croupes où replats et topographies de glacis ne sont pas rares, les affleurements granitiques étant parfois nettement mis en creux, tel celui de la Barguillère, près de Foix.

C. La couverture secondaire plissée antécénomanienne, qui affleure sur une large partie du versant nord, est très diversifiée : calcaires, marnes et schistes y donnent des reliefs variés où les calcaires dominent souvent le paysage, tandis que les matériaux tendres, comme les marnes albiennes et aptiennes ont été facilement déblayés par les cours d'eau.

D. Les terrains du Crétacé supérieur et de l'Eocène constituent la zone externe et, pour l'essentiel, les chaînons du Plantaurel et des Petites Pyrénées, qui marquent la limite nord de la bordure pyrénéenne. Là encore, marnes et calcaires dominent largement, alternant localement avec des formations à poudingues, comme dans les Petites Pyrénées ou des grès (grès de Labarre, au nord de Foix). Les sédiments du flysch cénomanien, qui affleurent de part et d'autre de la plaine de Rivière et s'allongent en une large bande de molles collines depuis le

bas Salat, à l'ouest, se réduisent rapidement vers l'est à un mince liseré entre Arize et Ariège.

2 - Eléments de piémont et formations quaternaires.

Au nord du couloir de la Neste-Garonne, recouvrant les molasses miocènes et les argiles graveleuses attribuées au Pontien, s'étalent les dépôts du plateau de Lannemezan. Par son étendue, par son relatif état de conservation, celui-ci représente le prototype même des constructions de piémont, traditionnellement attribuées au Pliocène, qui jalonnent la bordure occidentale des Pyrénées. La "formation de Lannemezan" désigne aujourd'hui la plupart des remblaiements qui, dans une situation morphologique comparable à celle du plateau de Lannemezan, montrent des faciès pétrographiques similaires : argiles bigarrées à galets ou blocs généralement très altérés.

A. Eléments de piémont entre Garonne et Ariège.

A l'est de la Garonne, une série de formations homologues de celle de Lannemezan, mises en évidence et étudiées en particulier par F. TAILLEFER (1951a), jalonnent çà et là la zone nord-pyrénéenne. Les plus importants en sont le plateau de Gantiès-Figarol, attribué à un ancien cône du Ger, et celui de Lasserre-Les Baudis, prolongement septentrional d'un cône du Salat, au-dessus de Saint-Girons et qui se poursuit, au-delà des Petites Pyrénées, par les hautes croupes de Lahitère (fig. 2). En contre-bas de certains de ces hauts niveaux, on a pu décrire des couloirs d'érosion, avec ou sans couverture détritique, et dont le dégagement correspondrait apparemment à une phase postérieure au dépôt de la formation de Lannemezan (C. CARCENAC, R. COINCON, F. TAILLEFER, 1969 ; J.J. LAGASQUIE, 1971).

B. Terrasses alluviales et dépôts glaciaires dans les vallées principales.

On trouvera une description détaillée de ces formations dans L. GORON (1941) et, notamment pour les

apports glaciaires, F. TAILLEFER(1953, 1959, 1960, 1969 b,c). Rappelons-en les principaux caractères morphologiques.

a. La Garonne au sud de Montréjeau et l'Ariège dans le bassin de Foix-Tarascon.

- Dans la vallée de la Garonne, au sortir du bassin de Barbazan, on peut distinguer schématiquement (fig. 3) :

. des dépôts morainiques récents, dont le vallum de la Serre, qui barre la cluse de Bazert, représente le prototype et auxquels se rattachent les placages parfois épais qui voilent les bas versants des collines calcaires de Burs et Arrivet ,

. des nappes fluvio-glaciaires récentes : elles s'étalent dans le bassin de Barbazan, dont le fond est colmaté de limons, et, dominant le lit majeur de la Garonne de plus de 15-20 m, se prolongent surtout en rive gauche du fleuve (terrasse de Tibiran-Jaunac) ;

. des formations morainiques anciennes (rapportées à la glaciation dite "de Seilhan") qui s'observent en placages très discontinus de bloc et galets sur les parties hautes des versants, comme à Burs, Arrivet, Gourdan et aussi sur le rebord ouest de la cluse de Tibiran-Jaunac ;

. des nappes fluvio-glaciaires (ou purement fluviatiles, selon les auteurs) anciennes et relativement délabrées : haute terrasse de Seilhan, lambeaux de Bentouy et du château de Barsous, qui dominent la Garonne de 50 m et plus.

- Dans la vallée de l'Ariège, ce sont également deux grandes générations de dépôts qui sont habituellement décrites:

. la première, la plus récente, correspond aux moraines de Garrabet, Arignac et la Bernière, lesquelles

Figure 3 - Terrasses et moraines garonnaises au sud de Montréjeau (en partie d'après la carte géomorphologique détaillée de la France, feuille Montréjeau sud-ouest, CNRS 1970).

- 1. Couverture secondaire plissée urgo-aptienne - 2. Placages morainiques anciens discontinus - 3. Dépôts morainiques récents - 4. Vallum de la Serre. - 5. Hautes terrasses de Seilhan, Bentouy et niveaux homologues - 6. Nappe fluvio-glaciaire principale de Tibiran-Jaunac et du bassin de Barbazan - 7. Matériel limoneux et limono-caillouteux glissé des talus de terrasses et des pieds de versants - 8. Formations limoneuses et limono-caillouteuses du fond du bassin de Barbazan et du lit majeur de la Garonne - 9. Haute terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens - 10. Remblaiement alluvial de la Plaine de Rivière - 11. Talus des paliers dans le remblaiement alluvial de la Plaine de Rivière.

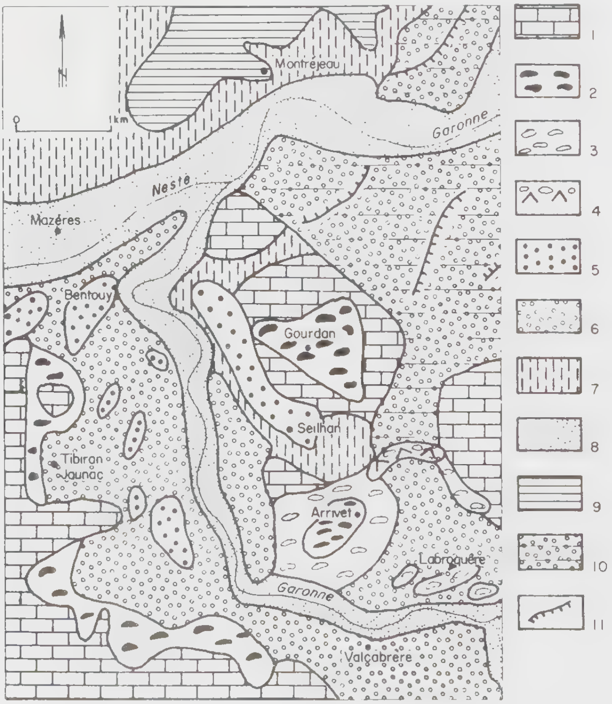


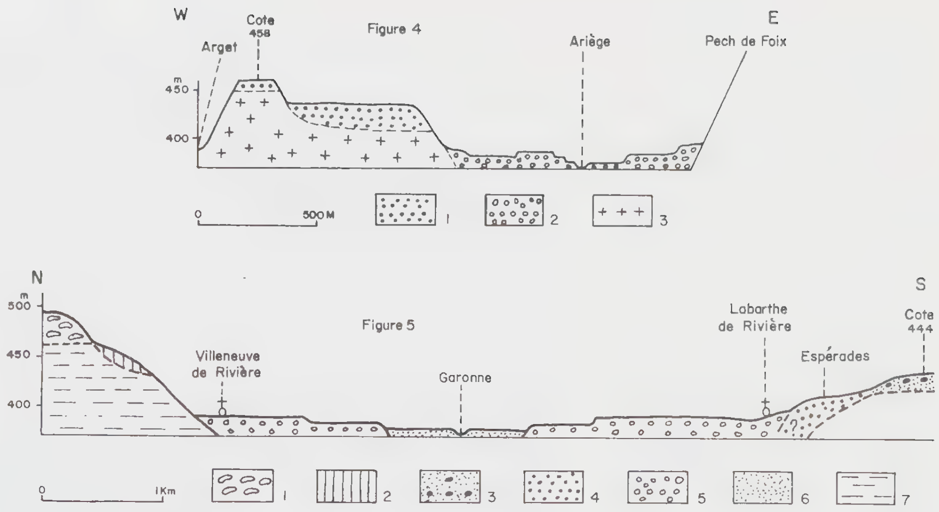
FIGURE 3

se relient plus ou moins nettement vers l'aval à une série de niveaux alluviaux qui se retrouvent notamment à Foix (terrasses du Courbet) ;

. la seconde, plus ancienne, est attestée par de hauts placages à blocs sur les versants, comme au-dessus de Montoulieu (versant ouest de la vallée) et par l'obturation de la petite vallée affluente de l'Arget, à l'ouest de Foix (argiles à varves de Sibian), que domine de part et d'autre du ruisseau, recouvrant le granite de la Barguillère, la haute terrasse de Cadirac (fig. 4). Dans les bassins des ruisseaux de Saurat et de la Courbière, au nord-ouest de Tarascon, des terrasses d'obturation glaciaire et des dépôts varvés témoignent également d'une ancienne diffluence du glacier ariégeois.

b. Les grandes constructions alluviales.

A l'aval du confluent de la Neste, la Garonne s'est ouvert un vaste couloir, souvent large de plus de 5 km et tapissé d'épaisses alluvions. La Plaine de Rivière, qui en constitue le fond, est façonnée en multiples niveaux de terrasses, faiblement emboîtés les uns dans les autres et souvent discontinus (fig. 5). A l'est et à l'ouest, la haute terrasse de Montréjeau-Saint-Gaudens, qui disparaît précisément à la traversée de la plaine, domine celle-ci par un fort talus d'une quarantaine de m de commandement. Très localement, sous le rebord du plateau de Lannemezan et au-dessus de Villeneuve-de-Rivière, s'observent les débris très délabrés d'une nappe plus élevée que celle de Montréjeau-Saint-Gaudens. Au sud, contre les versants calcaires qui surplombent Cier-de-Rivière, Ardiège et Labarthe-de-Rivière, s'étagent deux séries de lambeaux alluviaux, depuis la plaine, qui est à moins de 400 m, jusqu'à près de 450 m au-dessus de Labarthe-de-Rivière (fig. 5).



FIGURES 4 et 5

Figure 4 - Les terrasses de l'Ariège à Foix (d'après L. GORON, 1941)

- 1. Terrasse de Cadirac-Vernajoul et butte du point coté 458 - 2. Terrasses du Courbet et Layroule - 3. Granite de la Barguillère.

Figure 5 - La Plaine de Rivière : coupe schématique au droit de Labarthe-de-Rivière

- 1. Bordure du plateau de Lannemezan - 2. Replat démantelé dominant Villeneuve-de-Rivière - 3. Lambeau de terrasse de la cote 444. - 4. Lambeau de terrasse d'Espéradès - 5. Nappe de la Plaine de Rivière - 6. Lit majeur de la Garonne - 7. Soubassement miocène du plateau de Lannemezan. En blanc, socle calcaire aptien du sud de la Plaine de Rivière.

A l'aval de Saint-Gaudens, la vallée se referme peu à peu. La haute terrasse de Montréjeau-Saint-Gaudens, qui s'allonge jusqu'à Labarthe-Inard, est relayée, en rive droite, par celle de Montespan-Montsaunès, laquelle vient finir au-dessus de Mazères-du-Salat. Jusqu'à Mancioux, le fond de la vallée est occupé par un système de basses terrasses dans lesquelles s'inscrivent les alluvions du lit majeur.

Dans les vallées secondaires, comme celles du Ger ou du Salat, les systèmes de terrasses sont très inégalement développés. On en retiendra notamment le bassin de Saint-Girons, où la terrasse d'Antichan domine d'une vingtaine de mètres les niveaux plus récents du Salat, et les nappes alluviales du petit bassin de Soueich, sur le Ger.

CHAPITRE II

L'AVANT-PAYS MOLASSIQUE ET LES GRANDS COULOIRS ALLUVIAUX

L'AVANT-PAYS MOLASSIQUE ET LES GRANDS COULOIRS ALLUVIAUX.

1 - Le Terrefort molassique.

A. La molasse.

Depuis les séries du Lutétien moyen des poudingues de Palassou qui, redressées vers le nord au contact des chaînons prépyrénéens, forment une bande de plus en plus large à l'est de l'Ariège, jusqu'aux niveaux helvétiens, qui affleurent çà et là à l'ouest de la Garonne, la molasse a remblayé de façon uniforme l'ensemble du sud-est aquitain.

Pratiquement horizontaux, les dépôts oligo-miocènes revêtent, à petite échelle, une homogénéité apparente, vite démentie par l'observation courante. Les couches calcaires qui arment localement la molasse se font en effet plus fréquentes et surtout plus continues dans certaines régions : dans la Gascogne gersoise (autour d'Auch et de Lectoure, notamment), sur la bordure du Massif Central (calcaires de l'Albigeois) et, dans une moindre mesure, dans le Lauragais oriental et la Piège, s'étendent ainsi de larges secteurs de plateau ou de causse calcaires. Leurs horizons calmes contrastent avec le modelé, complexe et varié, qui caractérise les coteaux du Terrefort proprement dit, établis dans la molasse *sensu stricto*, comme c'est le cas en particulier dans le vaste domaine compris entre Ariège et Agout. Là règnent en effet les dépôts de l'Aquitanien et du Stampien, le plus souvent argilo-calcaires mais que traversent par place des lentilles sableuses ou des niveaux plus consolidés à faciès gréseux. Un dense réseau de petits cours d'eau a disséqué cette région en un fouillis de molles collines et de vallons encaissés.

B. Le modelé du Terrefort lauragais.

C'est précisément dans ce secteur du Lauragais, où les formes structurales données par les bancs calcaires sont rares et aisément démasquées, que le modelé du Terrefort révèle le plus clairement et d'une façon très générale, les traces de plusieurs stades morphogéniques (G. ASTRE, 1953a, 1959 ; A. CAVAILLE, 1958, 1969b; H. ENJALBERT, 1960 ; J. HUBSCHMAN, 1972 a). Rappelons-en brièvement les principaux caractères (fig. 6).

- Dominant le paysage, les éléments de plateaux montrent couramment deux niveaux emboîtés :

. le premier correspond aux replats supérieurs, représentés par d'étroits lambeaux, généralement allongés dans une direction sud-est-nord-ouest et culminant, au sud-est de Toulouse, vers 260-280 m ;

. le second est celui des replats inférieurs, plus larges et plus nettement inclinés que les précédents, sous lesquels ils s'inscrivent de 20 à 30 m environ. Ils se raccordent de façon très progressive aux replats supérieurs et, vers le bas, aux versants longs à pente modérée.

- Entaillant ces replats, les vallons fréquemment dissymétriques présentent des versants longs généralement tournés vers l'est et voilés de colluvions ("argile de coulière" de G. ASTRE) qui s'épaississent au pied des versants et remblayent les thalwegs. Ces dépôts sont absents sur les versants courts à pente raide, taillés directement dans la molasse en place.

Ce modelé de détail, qui intéresse surtout le Lauragais occidental, ainsi que certains secteurs compris entre Save et Gimone, contraste singulièrement avec l'ampleur et la régularité des formes qui s'observent dans les larges gouttières alluviales de l'avant-pays molassique. C'est là que se sont étalées, pour l'essentiel, les

Figure 6 - Principales dispositions morphologiques en Terrefort lauragais : esquisse schématique

- 1. Replat supérieur - 2. Replat inférieur - 3. Versant long à pente généralement modérée - 4. Versant court à pente plus raide - 5. Entaille de ruisseau.

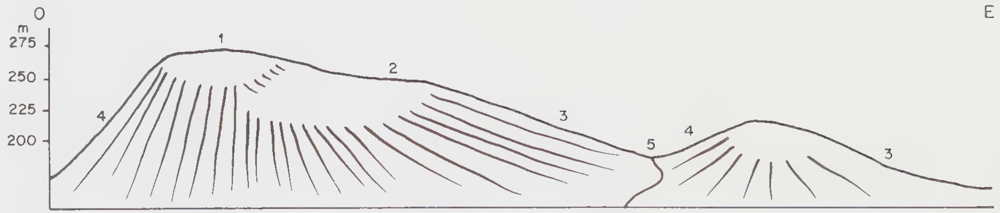


FIGURE 6

principales nappes détritiques quaternaires.

2 - Les grands couloirs alluviaux.

A l'aval des cluses prépyrénéennes de Boussens et Varilhes, la Garonne et l'Ariège ont considérablement élargi leurs vallées dans la roche tendre molassique, au point que celle de la Garonne atteint plus de 25 km d'est en ouest à la latitude de Toulouse. La dissymétrie qui, à l'ouest de la Garonne, caractérise les vallées de l'éventail gascon, est ici manifeste. En effet, à l'exception du cours moyen de l'Ariège qui, à l'amont de Saverdun, coule au pied du Terrefort de Pamiers, les fleuves, dominés en rive droite par un raide et haut talus taillé dans la molasse, ont laissé sur leur rive gauche un système de terrasses étagées tout particulièrement remarquable, par son ampleur, dans la vallée de la Garonne. Une telle disposition se retrouve du reste dans la vallée du Tarn à l'aval de Lavaur et, quoiqu'à un moindre degré et à une tout autre échelle, le long de petites rivières allogènes comme l'Arize.

Ces terrasses, on l'a vu, sont aujourd'hui bien inventoriées. Nous les présenterons donc très succinctement (fig. 7), en utilisant la terminologie locale proposée d'abord par G. DENIZOT (1923) et reprise par la suite, notamment par L. GORON (1941), L. RIEUCAU (1957, 1958) et A. CAVAILLE (1965, 1969 et notices des feuilles de la carte géologique au 50 000° mentionnées plus haut).

A. Les hauts niveaux alluviaux.

La nappe culminante de la Garonne se suit depuis les Petites Pyrénées, au sud, jusqu'aux croupes de Lomagne, vers le nord-ouest. Le plus souvent très délabrée, disséquée par rivières et vallons, elle ne subsiste plus, dans la partie méridionale, que sous forme de buttes, d'échines

Figure 7 - Distribution des principales nappes alluviales dans l'avant-pays molassique

- 1. Bordure pyrénéenne - 2. Molasse - 3. Nappe culminante de la Garonne - 4. Haute terrasse de la Garonne - 5. Lambeaux de la nappe culminante et de la haute terrasse du Tarn - 6. Lambeaux de la nappe culminante et de la haute terrasse de l'Ariège - 7. Terrasses moyennes de la Garonne et de l'Ariège -rive gauche - 8. Haute Boulbonne - 9. Terrasse moyenne du Tarn 10. Basses terrasses de la Garonne et de l'Ariège - rive gauche - 11. Basse Boulbonne - 12. Plateau de Lavilledieu-Montech et basse terrasse du Tarn 13. Talus limitant le haut palier de la basse plaine garonnaise et le palier inférieur du plateau de Lavilledieu-Montech - 14. Basses plaines et lits majeurs.

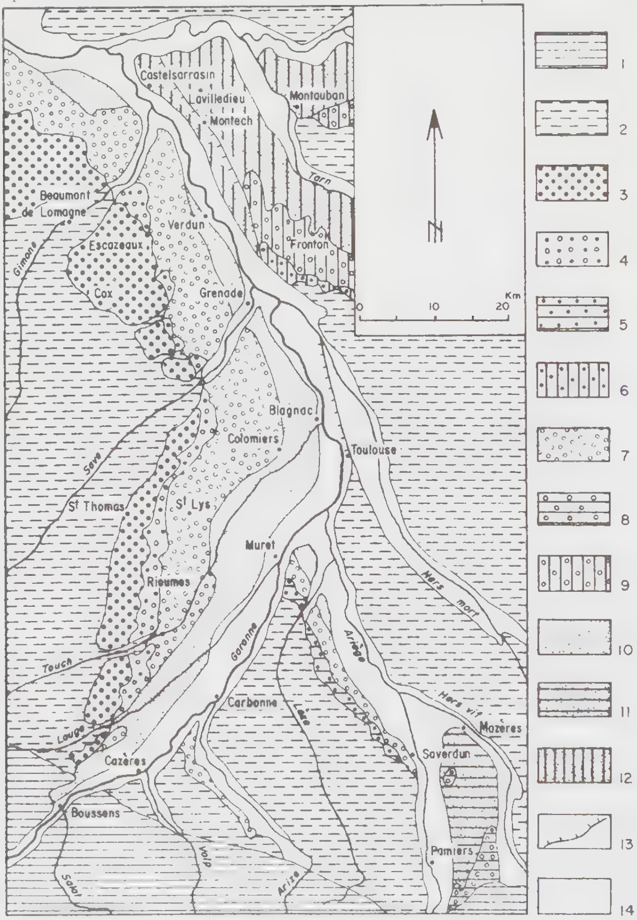


FIGURE 7

ou de petits éléments de plateau, eux-mêmes localement étagés (Marignac, Lescuns, Picampeau), qui surplombent vers l'ouest les coteaux molassiques du Bas Comminges et du Tougès et dominent la Garonne de plus de 150 m. Plus au nord et tout particulièrement en Lomagne, les rivières gasconnes l'ont découpée en longs plans légèrement inclinés vers la Garonne et qui, vers l'ouest, forment balcon au-dessus de la Gascogne gersoise (fig. 8). Y répond, de l'autre côté du fleuve, le mince liseré de croupes des hauts niveaux tarnais, au pied duquel coule la Garonne.

Dans la vallée de l'Ariège, la nappe culminante a presque totalement disparu. Seuls, quelques lambeaux couronnent les coteaux molassiques entre Saverdun et Muret, à plus de 120 m au-dessus du fleuve.

B. Hautes et moyennes terrasses.

a. Le plus souvent nettement inscrite sous les hauts niveaux, à 90 m environ au-dessus du cours d'eau, la haute terrasse de la Garonne (dite terrasse de Rieumes) offre elle aussi un aspect dégradé. Encore le plateau de Rieumes, qui prolonge au nord celui de Labastide-Clermont, est-il relativement bien conservé, mais il s'amenuise peu à peu vers l'aval et dès après la Forêt de Bouconne, à l'ouest de Toulouse, la haute terrasse ne forme plus que des replats généralement peu étendus. Au-delà de la Save et en basse Lomagne, elle ne constitue plus une unité morphologique réellement bien différenciée et se distingue alors difficilement des hauts paliers de la terrasse moyenne (niveaux de Galembrun, Saint-Sardos) (fig. 8).

La situation est encore plus confuse le long de l'Ariège où, entre Saverdun et Muret, ne subsistent, au-dessous des lambeaux culminants, que d'étroits éléments de plateau, reconnus comme homologues de la haute terrasse garonnaise.

Figure 8 - Coupe transversale schématique du versant gauche de la Garonne, suivant une lanière de plateau (Lomagne méridionale)

- 1. Molasse - 2. Nappe culminante de Lomagne - 3. Haute terrasse - 4. Terrasse moyenne
- 5. Basse terrasse - 6. Lit majeur de la Garonne.

Nette pente transversale de la nappe de Lomagne et nombreux paliers accidentant la terrasse moyenne, à l'aval de Toulouse.

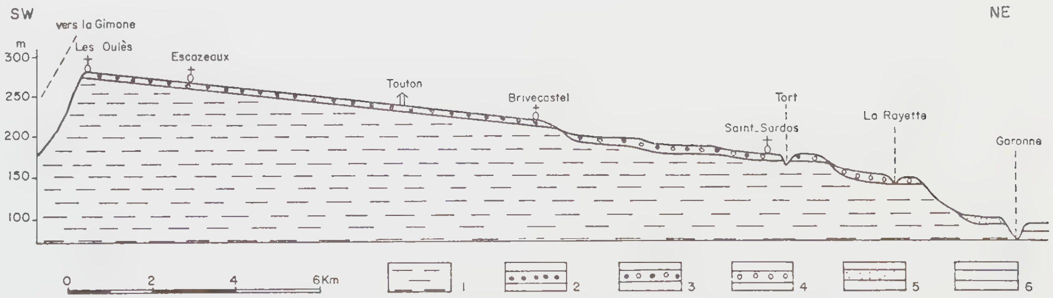


FIGURE 8

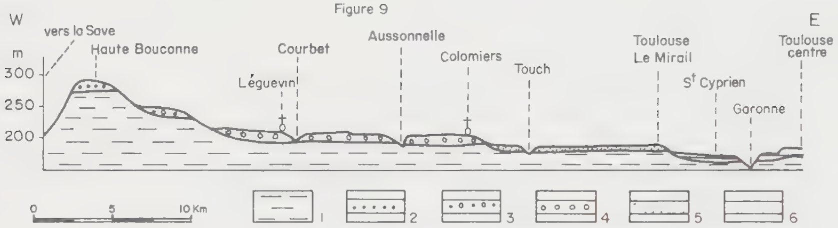
b. Encore très disséquée près des Petites Pyrénées, la terrasse moyenne de la Garonne (dite de Colomiers ou de Saint-Lys) constitue, au-delà du Touch, l'une des plus remarquables unités morphologiques de la région (fig. 9). Son altitude relative est variable, allant de 50 m à près de 80 m, d'autant que d'assez fréquents paliers, parfois discontinus, accidentent sa surface, comme on l'observe du reste également sur la moyenne terrasse tarnaise (terrasse de Fronton). Les plus élevés d'entre ces paliers s'étendent surtout à l'ouest de Grenade et, comme on l'a vu plus haut, leur existence rend difficile la distinction entre haute et moyenne terrasse.

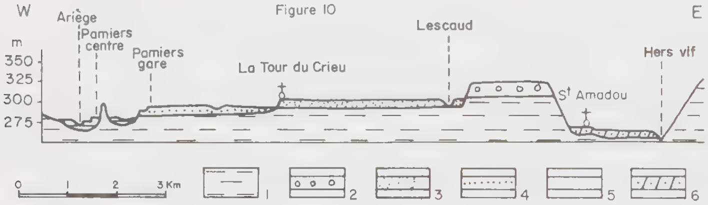
La terrasse moyenne de l'Ariège est beaucoup moins bien conservée, sauf aux abords immédiats de Saverdun et surtout de part et d'autre de la vallée de la Lèze, à son débouché dans la plaine ariégeoise. Cependant, entre Ariège et le Hers-vif, appuyé contre le chaînon du Plantaurel, le petit plateau des Pujols (haute Boulbonne) est le plus souvent assimilé à la moyenne terrasse, comme l'est d'ailleurs, plus au nord, le témoin isolé de la butte de Montaud (1) (fig. 10).

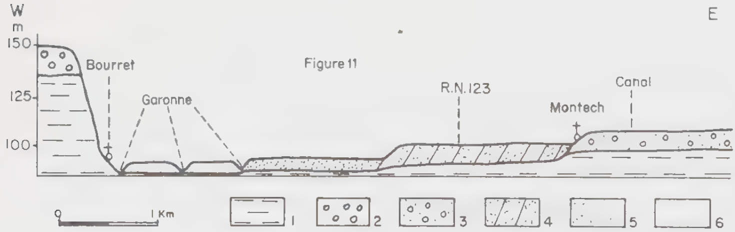
C. Basses terrasses et basses plaines.

a. Dominée par le talus interne de la terrasse moyenne, le plus souvent d'une trentaine de mètres de commandement, la basse terrasse de la Garonne (dite de Seysses ou de Blagnac) se poursuit presque sans interruption sur la rive gauche du fleuve, depuis la cluse de Boussens jusqu'au confluent du Tarn.

(1) Pour H. ENJALBERT (1960), la haute Boulbonne serait plus l'équivalent d'une haute terrasse ("glacis supérieur"), tandis que la basse Boulbonne et le plateau de Lavilledieu-Montech s'apparenteraient au stade des moyennes terrasses ("glacis inférieurs").







FIGURES 9,10 et 11

Figure 9 - Coupe transversale schématique du versant gauche de la Garonne, au droit de Toulouse

- 1. Molasse - 2. Nappe culminante - 3. Haute terrasse - 4. Terrasse moyenne - 5. Basse terrasse - 6. Basse plaine

Figure 10 - Coupe transversale schématique dans la vallée de l'Ariège, à hauteur de Pamiers

- 1. Molasse - 2. Haute Boulbonne - 3. Basse Boulbonne - 4. Grausse de Pamiers - 5. Lit majeur et éléments de terrasses associés - 6. Basse plaine de l'Hers vif.

Figure 11 - La rive droite de la Garonne, de Bourret au plateau de Lavilledieu - Montech

- 1. Molasse - 2. Terrasse moyenne - 3. Plateau de Lavilledieu-Montech - 4. Palier inférieur du plateau de Lavilledieu-Montech - 5. Basse plaine s. s. - 6. Lit majeur.

Sur le versant gauche de la vallée de l'Ariège, cette nappe n'apparaît clairement que vers l'aval, à proximité du confluent avec la Garonne. Cependant, au sud de Mazères, entre Ariège et Hers-vif, s'étend le plateau de la basse Boulbonne, généralement rapportée au système des basses terrasses.

La zone de confluence de la Garonne et du Tarn est plus complexe. Le plateau de Lavilledieu-Montech est en effet accidenté de nombreux paliers, dont le plus bas porte Castelsarrasin, Escatalens et la ville basse de Montech (fig. 11). En fait, il existe un passage progressif, par l'intermédiaire de ces petits paliers, entre le plateau de Lavilledieu-Montech proprement dit et les niveaux de la basse plaine.

b. Depuis le débouché des cluses prépyrénéennes jusqu'à la latitude de Toulouse, le dispositif des nappes récentes de la Garonne et de l'Ariège apparaît comme relativement simple. Les cours d'eau ont étalé un manteau continu d'alluvions, le plus souvent à 15-20 m, parfois plus, au-dessus de l'étiage et localement accidenté de paliers, comme à l'amont de Muret. Sous ce niveau, s'inscrivent les lits majeurs (ramiers, petites terrasses de méandre, localement emboîtées les unes dans les autres) dans lesquels s'encaissent les lits actuels des fleuves, qui ont fréquemment entamé le substrat molassique.

A l'aval de Toulouse, on l'a vu, les bas paliers du plateau de Lavilledieu-Montech font transition avec la basse plaine proprement dite. Ils se prolongent du reste vers l'amont jusqu'à Toulouse, formant ainsi un niveau "supérieur" de cette basse plaine. D'autre part, la Garonne est beaucoup moins encaissée dans ses alluvions qu'elle ne l'est à l'amont de Toulouse. De ce fait, les secteurs remaniés du lit majeur, faiblement inscrits sous la basse plaine stabilisée, s'élargissent sensiblement à l'aval de Toulouse.

DEUXIEME PARTIE

TYPES DE SOLS ET D'ALTERATION DES FORMATIONS QUATERNAIRES

DE LA ROCHE-MERE AU PROFIL DIFFERENCIE

L'évolution pédologique, on le sait, se manifeste essentiellement par le développement d'un profil différencié dans la roche-mère. Celle-ci joue donc un rôle décisif dans la mesure où, par ses principaux caractères de structure, de constitution minéralogique, physique et chimique, elle oriente fondamentalement la pédogénèse. Avant que de passer en revue les grands types de sols et d'altérations, il nous faut donc offrir au préalable un aperçu général de la pétrographie des matériaux quaternaires.

Il est cependant notoire que la composition pétrographique des nappes, notamment celle des plus anciennes, reflète dans une large mesure l'importance de l'altération qui s'y est développée. Présenter ces données d'emblée et de façon systématique reviendrait ainsi à anticiper quelque peu sur la suite. On se limitera donc ci-dessous à une vue rapide, mais suffisante, des principaux caractères pétrographiques des formations quaternaires. Reste néanmoins que le problème des couvertures limoneuses sera l'objet d'un examen plus approfondi : la mise en évidence de leur origine et de leur âge, aujourd'hui encore controversés, conditionne en effet une bonne part des interprétations ultérieures.

1 - Origine et constitution des roches-mères quaternaires.

A. Structure schématique des grandes constructions alluviales.

Très généralement, les terrasses montrent la superposition suivante (fig. 12) : en profondeur, la nappe grossière est composée de galets, parfois de blocs, et de graviers et gravillons, lesquels sont emballés dans une matrice sableuse, dans les formations récentes,

plus fine dans les dépôts plus anciens. Par endroit, des lits ou lentilles purement sableux ou gravillonnaires se glissent entre les cailloutis. En surface, une couche de limons, plus ou moins épaisse et caillouteuse, parfois presqu'entièrement dépourvue d'éléments grossiers, recouvre les graves.

Dans les dépôts qui tapissent les croupes de piémont, comme d'ailleurs dans les formations glaciaires, cette disposition est beaucoup moins fréquente : le plus souvent, on a affaire à un mélange de blocs, galets et graviers, emballés dans une matrice sableuse ou limoneuse, sans qu'apparaisse clairement et de manière continue le manteau limoneux de surface qui caractérise nombre de terrasses alluviales.

L'épaisseur des nappes est très changeante. Certainement considérable (plus de 30-40 m), au moins localement, pour les sédiments de piémont (L. GORON, 1942 ; F. TAILLEFER, 1951a), elle varie largement d'une formation et d'un endroit à l'autre. Ainsi la nappe garonnaise qui tapisse le fond de la Plaine de Rivière dépasse-t-elle presque partout 10 à 15 m d'épaisseur. Cependant, à l'aval des cluses prépyrénéennes, les alluvions des basses plaines et des basses terrasses de la Garonne et de l'Ariège excèdent rarement 6 à 7 m de puissance, la moyenne se situant autour de 3 à 5 m. En revanche, la nappe qui constitue les hauts niveaux, ceux de la Garonne en particulier, semble habituellement beaucoup plus épaisse : si la grande rareté des sondages et l'état de délabrement avancé de cette formation, à l'amont de Muret, rendent les observations aléatoires, dès les hautes croupes de Bouconne et tout spécialement en Lomagne, la puissance du remblaiement est le plus souvent de l'ordre d'une dizaine de mètres, et parfois beaucoup plus encore, comme l'avait déjà noté E. HARLE (1895). Quant aux moyennes et hautes terrases de la Garonne et de l'Ariège, et mal-

gré les disparités qui s'observent d'un point à l'autre (à l'ouest de Toulouse, près de Pibrac, la terrasse moyenne passe, en quelques centaines de mètres, de 2-3 m à plus de 15 m d'épaisseur), leur plancher molassique se tient la plupart du temps entre 4 à 8 m de profondeur.

B. Eléments grossiers des nappes graveleuses : aperçu pétrographique.

Les Pyrénées ont fourni la quasi-totalité des matériaux grossiers qui composent les nappes quaternaires. Cependant, l'influence d'apports tarnais, originaires du Massif Central, se manifeste quelque peu dans les dépôts culminants de Lomagne (petits quartz arrondis et translucides), ainsi d'ailleurs que localement, sur le plateau de Lavilledieu-Montech qui sépare le Tarn de la Garonne.

Dans les terrasses récentes de l'avant-pays molassique, les matériaux cristallins dominent de façon très générale : quartz, mais surtout granites et secondairement gneiss, pegmatites et aplites, parfois micaschistes, sont le plus souvent associés à d'abondants quartzites à ciment siliceux. Les schistes et les divers grés sont toujours très subordonnés ; lydiennes, ophites (un peu moins rares dans les alluvions du Salat) ou éléments de poudingues siliceux, représentent l'exception. Dans l'ensemble et pour les basses terrasses et basses plaines garonnaises, les cristallins constituent généralement 30 à 40 % des éléments de taille supérieure à 3-4 cm, les quartz, comme les quartzites, 20 à 30 %.

Cependant, l'influence des bassins d'alimentation est loin d'être négligeable : ainsi, les alluvions ariégeoises sont beaucoup moins riches en quartzites, mais mieux fournies en gneiss et en aplites et granulites que ne le sont les terrasses garonnaises. Nous verrons plus loin (1) que la nature du bassin d'alimentation joue

(1) Chapitre IX et suivants.

un rôle décisif dans notre interprétation de l'altération des dépôts, en particulier pour ce qui concerne les formations alluviales des basses vallées montagnardes. Précisément, alors que les galets calcaires sont rarissimes à l'aval des cluses prépyrénéennes, les nappes récentes garonnaises (Plaine de Rivière, moraines de Labroquère) et ariégeoises (terrasses du Courbet, à Foix), comme souvent celles du Salat et du Ger, en contiennent une certaine proportion, quoique relativement faible. De même, des éléments du flysch cénomanien ou des schistes albiens s'observent-ils par place dans les formations sous-pyrénéennes.

Pour ce qui est des nappes alluviales anciennes, la composition pétrographique apparaît dans l'ensemble comme relativement proche de celle des dépôts récents, à la différence, il est vrai, que les espèces fragiles ayant disparu ou s'étant altérées, les matériaux résistants tendent à prendre le pas dans les spectres pétrographiques, ce qui rend très aléatoire les comparaisons avec les formations récentes. Néanmoins, l'importance du stock d'éléments cristallins apparaît encore très clairement, malgré leur délabrement, dans les hautes et moyennes terrasses de l'avant-pays. Par contre, dans les nappes culminantes et les dépôts de piémont, quartz et quartzites (ou grés-quartzites), accompagnés de quelques schistes et lydiennes et parfois de quelques éléments de poudingues siliceux, règnent pratiquement sans partage. Parallèlement, il arrive qu'une certaine évolution se manifeste de l'amont vers l'aval, comme L. RIEUCAU (1958) l'a montré pour les hauts niveaux culminants de la Garonne : les quartz, plus résistants, prennent peu à peu l'avantage sur les autres espèces, notamment les quartzites. Toutefois, ce phénomène est beaucoup moins évident et ne se marque plus très nettement dans les nappes plus récentes, en particulier dans les basses terrasses et les basses plaines de l'avant-pays.

De même que l'épaisseur des nappes, la taille des éléments rocheux qui les constituent n'est pas partout identique. Les plateaux de piémont, surtout dans leur partie amont, portent des formations à galets et gros blocs, lesquels s'observent emballés dans la masse matricielle ou, plus fréquemment, glissés sur les versants. Les blocs volumineux, qui, dans les basses vallées montagnardes, voisinent avec des sables, galets et graviers de toute taille et signalent les dépôts glaciaires, ne se retrouvent plus qu'exceptionnellement vers l'aval. Dans la Plaine de Rivière comme dans la Grausse de Pamiers, les plus gros éléments, qui dépassent 30-40 cm de longueur, sont encore nombreux, mais, dès Cazères et au-delà de Saverdun, les galets qui excèdent 25 à 30 cm deviennent rares. En fait, à l'aval des cluses, la taille moyenne des galets, dans les basses terrasses et les basses plaines, diminue régulièrement et lentement avec l'éloignement de la montagne. La même remarque s'applique aux hautes et moyennes terrasses, quoique, pour ces dernières, la décroissance semble plus rapide que dans les nappes plus récentes, en particulier entre les Petites Pyrénées et la latitude de Muret. Cette tendance s'accentue dans la nappe culminante de la Garonne : rapide à proximité immédiate des Petites Pyrénées, la taille des cailloux décroît de moins en moins vite vers l'aval (L. RIEUCAU, 1957, 1958).

C. <u>Faiblesse du remaniement des nappes.</u>

En réalité, les caractères purement morphométriques des nappes graveleuses n'ont, on s'en doute, qu'une incidence relativement secondaire sur le développement des altérations, encore que, comme nous l'évoquerons par la suite, l'hétérométrie poussée des dépôts glaciaires ou l'abondance des gros éléments dans certaines nappes, ne restent pas sans effet. Dans tous les cas, la composition pétrographique importe davantage et on a vu, à ce propos, que les matériaux cristallins y tiennent la première place. Toutefois, il serait vain de vouloir caractériser les

diverses nappes quaternaires par le degré et la nature de leur altération s'il était avéré que chacune d'entre elles ne fait que remanier, pour une part importante, le matériel de formations alluviales antérieurement déposées et préalablement transformées. Cette hypothèse, qui a pu être soutenue, quoique de façon inégale, notamment par L. GORON (1941), H. ENJALBERT (1960), J. TRICART et al. (1966) et C. LATOUCHE (1971) pour le Bordelais, est démentie par les faits. D'une part, en effet, la fragilité même des éléments caillouteux altérés, dès le stade des basses plaines et _a fortiori_ pour les niveaux plus anciens, interdit de penser qu'ils aient pu être transportés puis déposés dans cet état, observation déjà formulée par les auteurs anciens et par F. TAILLEFER (1951a) et H. ALIMEN (1964) à propos du Lannemezan et de la Bigorre. D'autre part, comme on le verra plus loin, l'étude proprement pédologique des nappes montre l'existence d'un _front d'altération_ (J. HUBSCHMAN, 1972 b), au-dessous duquel apparaissent les alluvions fraîches, lesquelles donnent peu ou prou l'image de la formation initiale lors de son dépôt. Ce front d'altération qui correspond à la profondeur moyenne de la tranche de matériel plus ou moins transformé, ne s'observe clairement, il est vrai, que dans les nappes récentes, en particulier dans les basses plaines et les basses terrasses de l'avant-pays. Dans les niveaux plus anciens, en effet, la puissance de l'altération est telle que, dans la plupart des cas, toute l'épaisseur de la nappe se trouve située au-dessus du front qui pénètre alors profondément dans le plancher sous-alluvial. En plusieurs points, cependant, comme sur la moyenne terrasse garonnaise à l'ouest de Toulouse, là où la puissance des dépôts atteint localement plus de 10 m, on a pu vérifier la présence, à partir de 7-8 m, de graves assez bien conservées, où nombre d'espèces fragiles ont gardé leurs caractères de dureté et de cristallinité. De même, sur les niveaux de hautes terrasses, les coupes suffisamment profondes indiquent nettement l'existence d'un _gradient d'altération_ : les roches facilement altérables, comme les

granites à biotites, absentes dans les 2 ou 3 m supérieurs de la grave, commencent peu à peu à apparaître et à se multiplier avec la profondeur.

On peut donc tenir pour assuré que, sauf exception locale, la mise en place de chacune de ces nappes s'est traduite par l'apport d'un matériel pétrographique essentiellement neuf, arraché aux versants pyrénéens. C'est là une donnée fondamentale, faute de laquelle la caractérisation des nappes quaternaires par leur faciès d'altération serait sans objet. Dans cette perspective, l'origine des couvertures limoneuses qui, le plus souvent, voilent les alluvions graveleuses, ne peut non plus être négligée par leur nature, comme en raison de leurs caractères propres, elles posent cependant des problèmes spécifiques.

2 - Le problème des couvertures limoneuses.

Drapant les terrasses alluviales ou feutrant les versants du Terrefort, les couvertures limoneuses constituent un trait dominant dans les paysages de l'avant-pays molassique. Moins régulièrement étendu et surtout moins nettement individualisé sur les formations récentes d'amont (Plaine de Rivière, terrasses de Foix, Grausse de Pamiers), le manteau limoneux couvre pourtant encore de larges surfaces sur la bordure pyrénéenne, tapissant notamment les "hautes" terrasses de Montréjeau-Saint-Gaudens et Montespan-Montsaunès, comme celles d'Antichan-Saint-Girons et de Soueich, ainsi que de vastes secteurs des plateaux de piémont.

Exception faite des dépôts les plus récents, la composition originelle des limons a été plus ou moins profondément altérée par la pédogénèse et, dans la plupart des cas, leurs propriétés actuelles relèvent plutôt de l'étude pédologique proprement dite. Nous laisserons donc provisoirement de côté cet aspect de la question, quitte à rendre compte un peu plus loin ou dans les chapitres

ultérieurs de leurs caractères chimiques ou minéralogiques. Au contraire, dans un souci de clarté, il nous faut dès maintenant tenter de dissiper les incertitudes qui planent sur la genèse de ces dépôts : limons éoliens, limons remaniés à partir de la matrice des graves, ou bien, plus simplement, limons fluviatiles ou ruisselés ? Comme on le voit, l'origine et le mode de mise en place de ces couvertures limoneuses ont donné lieu à des interprétations divergentes, que nous passons en revue ci-dessous.

A. Des limons éoliens ?

Implicite ou, selon les cas, clairement formulée, l'origine éolienne des couvertures de limons a été maintes fois proposée. Et il est vrai que, notamment sur les terrasses alluviales, la finesse de ces dépôts, l'abondance des fractions granulométriques comprises entre 2 et 50 microns, le contact souvent net entre les limons et les alluvions graveleuses, de même que l'existence de véritables placages loessiques dans la région, comme ceux que nous évoquerons plus loin, tous ces caractères ne contredisent apparemment pas l'hypothèse d'une mise en place éolienne, telle qu'elle a pu être plus ou moins explicitement adoptée par certains auteurs anciens comme H. OBERMAIER (1906), E. CHAPUT (1928) ou G. DENIZOT (1949). L'opinion de D. FAUCHER (1931) corrobore dans une certaine mesure ce point de vue, puisque, selon cet auteur, les dépôts limoneux qui voilent les versants longs des vallées dissymétriques gersoises auraient été apportés par les vents d'ouest. A des degrés divers, cette hypothèse éolienne est reprise par d'autres chercheurs, tels H. ENJALBERT (1960), J.R. MARTY (1969) et L. RIEUCAU.(1) Enfin, le fait que, dès le stade des moyennes terrasses et même, trèssouvent, dès celui des basses terrasses de l'avant-pays, l'évolution pédologique des limons semble

(1) Communication personnelle.

identique d'un niveau à l'autre, a été souligné à plusieurs reprises, en particulier par N. FEDOROFF et al. (1969) et J.C. BEGON (1972), ce qui s'expliquerait par un dépôt simultané, donc probablement éolien, des couvertures limoneuses. En fait, cette manière de voir se heurte à de nombreux obstacles et, pour l'essentiel, nos observations n'accréditent pas la thèse de l'apport éolien.

a. Structure des recouvrements limoneux.

- Epaisseur des limons.- Le matériel fin qui recouvre les graves n'offre pas partout la même épaisseur. Le plus souvent, en l'espace de quelques dizaines ou centaines de mètres, celle-ci passe de 1 ou 2 m à moins de 40-50 cm, la couverture fine disparaissant parfois presque totalement et laissant alors affleurer en surface un cailloutis plus ou moins mêlé de limon (fig. 12 a). C'est dire que l'allure du sommet de l'alluvion grossière est loin d'être régulière : creux et bosses, d'ampleur très variable, accidentent le toit des cailloutis, sans que la topographie de surface trahisse pour autant cette disposition. La régularisation des plaines alluviales par ces dépôts limoneux représente ainsi un phénomène assez général dans la région (A. CAVAILLE, 1965) qui, en première analyse, s'explique beaucoup plus facilement par une mise en place fluviatile que par une série d'apports éoliens. Du reste, Garonne et Ariège ont, dans leurs lits majeurs, abandonné à l'époque historique de semblables dépôts qui ravinent et recouvrent les nappes de cailloutis.

- Leurs rapports avec les graves sous-jacentes.- Les manteaux limoneux sont rarement dénués de toute charge grossière : bien des cas se présentent où galets et graviers de diverses tailles se mêlent au matériel fin. Même dans les dépôts les plus homogènes et apparemment purs d'éléments grossiers, comme par exemple sur la nappe

Figure 12 - Quelques exemples de relations entre couvertures limoneuses et alluvions grossières

- A. Irrégularité de l'épaisseur des limons (moyenne terrasse garonnaise, environs de Saint-Lys).

- B. Niveaux de graviers et gravillons au contact de la nappe caillouteuse et de la couverture limoneuse; présence de lentilles grossières dans la masse des limons (haute terrasse garonnaise, environs de Rieumes).

- 1. Galets - 2. Graviers et gravillons - 3. Limons.

- C. Bosses et creux au toit des remblaiements caillouteux et lentilles grossières dans les limons. (basse terrasse garonnaise, environs de Saint-Elix).

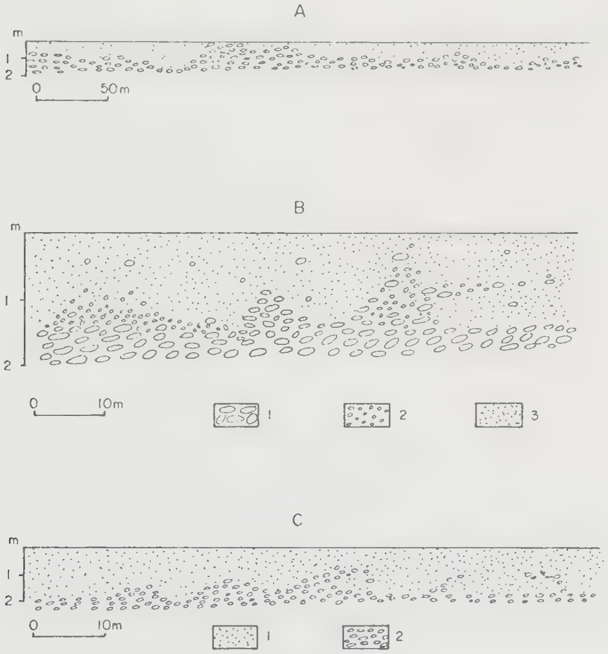


FIGURE 12

culminante de Lomagne ou sur la haute terrasse de Rieumes, il est bien rare qu'une certaine proportion de gravillons ou graviers, dispersés dans toute la masse limoneuse, ne soit pas décelée au tamisage (1) : sur 59 échantillons de limons "purs", prélevés un peu partout dans les grandes vallées, le poids des particules de dimension supérieure à 0,5 cm (et généralement inférieure à 1 cm) est en moyenne de 3 %, atteignant localement près de 10 % de la terre fine (2).

Cependant, nombre d'observations courantes semblent plus probantes. En maints endroits, en effet, les coupes montrent sinon un passage véritablement progressif de la grave au limon, du moins l'intercalation d'un niveau de petits graviers et gravillons parfois mêlés de quelques galets et qui se résoud vers le haut en un lâche semis d'éléments dispersés dans le matériel fin (fig. 12 b). De même, certaines tranchées particulièrement longues permettent elles aussi de préciser les rapports entre l'alluvion caillouteuse et sa couverture limoneuse. Par endroit, des lentilles grossières se glissent dans la masse de limons ; elles se rattachent le plus souvent au cailloutis profond, mais parfois, elles en sont complètement indépendantes (fig. 12 c) (3). Ce passage latéral des alluvions fines à des dépôts plus grossiers traduit sans aucun doute leur origine fluviatile.

(1) Les analyses granulométriques présentées en annexe ne mettent pas toujours ce phénomène en évidence, du fait des techniques de conditionnement appliquées, dans l'analyse de grande série, aux échantillons bruts.

(2) Terre fine séchée à l'air et passée au tamis de 2 mm.

(3) Ces faciès n'ont pu cependant être observés avec certitude sur les nappes culminantes, celle de la Garonne en particulier.

Cependant, comme H. ENJALBERT (1960) l'a suggéré, on a pu imaginer que, par dessus un matériel fin mis en place par les cours d'eau et situé au contact immédiat des graves, des apports éoliens soutenus soient venus épaissir notablement la couche de limons, achevant ainsi de façon très générale le processus de recouvrement limoneux des plaines alluviales. Dans le Terrefort molassique, ce même phénomène aurait contribué à l'engraissement du matelas d'"argile de coulière" qui drape les versants longs des vallons. Ni la distribution granulométrique des particules sableuses, ni l'observation microscopique des grains de quartz, ne confirment toutefois l'importance donnée à ce mode d'accumulation.

b. Distribution des fractions sableuses (1).

Comme il a été dit plus haut, la composition des nappes limoneuses, dès le stade des basses terrasses et bien souvent dès celui des basses plaines, ne donne qu'une image déformée du dépôt initial, altéré par la pédogenèse. Cependant, la majeure partie des sables inclus dans les limons étant formée de quartz, et si l'on admet que les processus d'altération intéressent plus directement les classes les plus fines, argiles et limons "texturaux", on peut considérer que la distribution des tailles dans les fractions sableuses n'est pas totalement dépourvue d'intérêt.

En règle générale, l'examen des courbes cumulatives ne permet pas de mettre clairement en évidence un triage notable des particules par le vent. Sur les nappes culminantes, sur les hautes, moyennes et basses terrasses ou basses plaines de l'avant-pays, comme sur les formations qui s'étendent à l'amont des cluses (2) (fig. 13 a, b, c, d), l'allure des courbes est le plus souvent inter-

(1) Mesures relatives aux fractions sableuses comprises entre 0,040 mm et 2,5 mm.

(2) Observation qui s'applique également aux limons qui couvrent les plateaux de piémont.

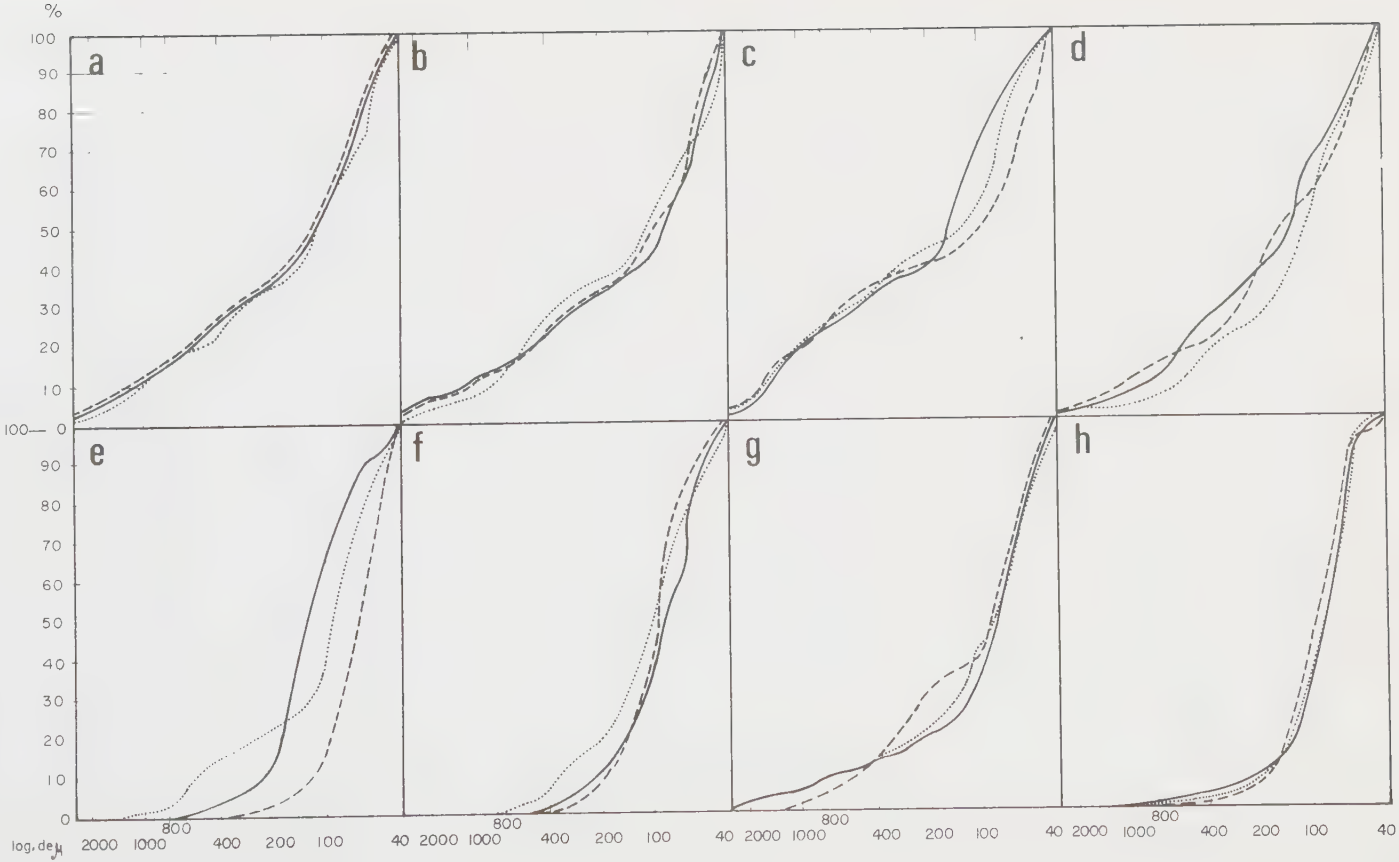

%
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
100— 0
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
a
b
c
d
e
f
g
h
log. deμ
2000 1000 800 400 200 100 40
2000 1000 800 400 200 100 40
2000 1000 800 400 200 100 40
2000 1000 800 400 200 100 40

FIGURE 13

Figure 13 - Allure des courbes cumulatives de distribution des sables dans les couvertures limoneuses

Trait plein : 1; trait tireté : 2; trait pointillé : 3; N.C. : nappe culminante; H.T. : haute terrasse; M. T. : moyenne terrasse; B. T. : basse terrasse; B.P. : basse plaine; L.M. : lit majeur. Profondeur du prélèvement en cm.

a - 1. Escazeaux 30-40 cm, 2. Escazeaux 90-100 cm - 3. Empeaux 90-100 cm (N.C. Garonne).

b - 1. Pujaudran 50-60 cm - 2. Pujaudran 100-110 cm (N.C. Garonne) - 3. Gaillac-Toulza 40-50 cm (N.C. Ariège).

c - 1. Plaisance-du-Touch 30-40 cm (B.T. Garonne) - 2. Le Burgaud 80-100 cm (M.T. Garonne) - 3. Eaunes 30-40 cm (M.T. Ariège).

d - 1. Portet-sur-Garonne 20-40 cm (B.P. Garonne) - 2. Pins-Justaret 35-45 cm (B.P. Ariège) - 3. Haute terrasse de Soueich 40-50 cm (Ger).

e - 1. Saint-Alban 50-60 cm (B.P. palier supérieur Garonne) - 2. Escatalens 30-50 cm (palier inférieur du plateau de Lavilledieu-Montech) - 3. Muret 40-50 cm (B.P. Garonne).

f - 1. Seilh 40-50 cm (L.M. Garonne) - 2. Toulouse-Sept-Deniers 30-40 cm (L.M. Garonne) - 3. Faure-Jean 20-30 cm (L.M. Ariège).

g - 1. Fourquevaux 20-30 cm - 2. Fourquevaux 50-60 cm - 3. Fourquevaux (molasse) (Terrefort).

h - 1 et 2. Loess de Toulouse - Pech David (Rangueil) - 3. Loess de Pompertuzat.

médiaire entre un type logarithmique et un type parabolique, avec toutefois une proportion relativement élevée de particules fines comprises entre 40 et 80 microns. Ces données, qui concernent aussi bien les parties profondes que les couches superficielles des manteaux limoneux, sont assez sensiblement différentes de celles obtenues à partir des placages éoliens du sud-est de Toulouse. Dans ces derniers, en effet (fig. 13 h), les courbes sont clairement redressées sur leur plus grande longueur et montrent une distribution de type sigmoïde déjà nette, avec 80 % des éléments compris entre 60 et 125 microns, contre moins de 50 %, le plus souvent, pour les limons des terrasses. Toutefois, dans les basses plaines et tout particulièrement à l'aval de Toulouse (1), l'allure franchement redressée des courbes parfois à tendance légèrement sigmoïde (fig. 13 e) dénote sans doute une accumulation plus sélective du matériel. Cependant, les levées limoneuses subactuelles des lits majeurs de la Garonne et de l'Ariège montrent elles aussi des distributions de ce type (fig. 13 f), lequel ne peut donc garantir en toute certitude l'intervention du vent. De même, sur les versants longs du Terrefort molassique, les courbes nettement redressées vers les dimensions fines que donnent les sables de l'"argile de coulière", ne signalent pas non plus nécessairement l'apport de poussières éoliennes, puisque la molasse en place, prélevée au sommet des versants, offre des propriétés analogues (fig. 13 g). Plus claires, en revanche, nous semblent les données issues de l'observation directe des grains de quartz.

c. Le figuré des grains de quartz.

L'étude morphoscopique des sables, telle qu'elle est préconisée par A. CAILLEUX et J. TRICART (1959), n'ap-

(1) Il s'agit surtout du palier supérieur de la basse plaine entre Toulouse et Castelsarrasin, dont la couverture limoneuse a pu localement être assimilée à un loess.

porte guère de résultats décisifs quant à la nature des processus de transport des limons. Certains auteurs ont du reste souligné les limites de la méthode et la fragilité des interprétations qui en découlent (J. TRICART, 1965a; L. LE RIBAULT, 1971 a). En particulier, on a pu montrer que le caractère mat des grains est loin d'être toujours lié à l'action du vent, tandis que des quartz parfaitement limpides, observés à fort grossissement, témoignent au contraire d'un façonnement éolien typique (D.H. KRINSLEY, 1962 ; L. LE RIBAULT, 1972 a). De fait, appliquée aux couvertures limoneuses du domaine garonnais et ariégeois, l'étude morphoscopique des sables à la loupe binoculaire s'avère le plus souvent décevante et interdit toute interprétation génétique. Même les placages loessiques, dont l'origine éolienne n'est plus guère contestée aujourd'hui, ne se différencient pas nettement des autres formations, bien que le nombre de grains plus ou moins arrondis à surface mate ou dépolie apparaisse un peu plus élevé dans les loess (10 à 15 % contre 8 à 12 % dans les limons de terrasses ou l'"argile de coulière"). En revanche, l'examen microscopique de l'état de surface des grains de quartz semble beaucoup plus fiable.

Etude microscopique des quartz.- Depuis les travaux de P.H. KUENEN et al. (1959, 1960), D.H. KRINSLEY et al. (1965) (1), L. LE RIBAULT (1971 a, 1971 b, 1972 b, 1972 c), entre autres auteurs, on sait que l'état de surface des grains de quartz ne traduit pas exclusivement des actions mécaniques mais qu'elles ressortissent également et parfois exclusivement à des phénomènes chimiques, lesquels affectent notamment la pellicule de silice "amorphe" qui entoure les grains, même à l'intérieur d'arènes non transportées (2). Si les modalités précises de la formation de

(1) In L. LE RIBAULT (1972 a).

(2) Cette pellicule est particulièrement évidente au microscope électronique à balayage, à très fort grossissement (cf. planche I).

cette pellicule ne sont pas encore très nettement explicitées, sa présence très générale et le fait qu'elle se comporte différemment selon les conditions du milieu (1), ont permis d'esquisser une typologie génétique des grains de sable quartzeux, tenant compte à la fois du remaniement chimique et des actions mécaniques (L. LE RIBAULT, 1972 a). Ainsi, pour nous en tenir aux quartz fluviatiles, le milieu relativement peu agressif (teneur en silice soluble généralement plus élevée que dans les océans) explique que la pellicule de surface apparaisse le plus souvent comme bien conservée, tantôt légèrement dissoute sur les arêtes des grains, tantôt nourrie localement de dépôts siliceux (dont les "fleurs" de silice représentent un aspect particulier - planche I). Cassures et traces de chocs sont fréquentes, mais elles sont la plupart du temps polies par dissolution au cours du transport dans l'eau. Sur les quartz éolisés, en revanche, la pellicule de silice a sauté en de nombreux points et les multiples cicatrices de chocs, en forme de "V", de cupules et de croissants profonds, sont localisées sur les arêtes et les faces planes. Lorsque ces grains sont repris ensuite par le ruissellement, ils montrent un polissage plus ou moins marqué qui, recoupant les traces de chocs, leur confère l'aspect "griffé" caractéristique. Tous ces phénomènes, qui apparaissent mal à la loupe binoculaire, s'observent par contre beaucoup mieux au microscope optique et, *a fortiori*, aux grossissements supérieurs à 1 000 qu'autorise le microscope électronique.

Appliquées aux couvertures limoneuses de la région (J. HUBSCHMAN et L. LE RIBAULT, 1972), ces observations conduisent aux résultats suivants, rassemblés pour

(1) Notamment selon la teneur des eaux en silice dissoute, qui règle la dissolution ou à l'inverse le nourrissement de la surface des grains. Conduite dans cette perspective, l'observation de la surface des sables quartzeux est qualifiée aujourd'hui d'"exoscopie" (L. LE RIBAULT, 1972 a).

la plupart dans le tableau 1 et la figure 14 (planche I) (1).

- L'origine éolienne des formations à faciès de loess, dont certaines sont reconnues depuis longtemps dans le domaine garonnais et ariégeois, se trouve confirmée. Les traces de chocs sont très nombreuses et très fraîches et l'éolisation représente sans aucun doute le dernier stade d'évolution des grains. D'autres dépôts, moins typiquement loessiques, jalonnent çà et là les talus de terrasses de l'avant-pays et présentent des caractères d'éolisation voisins : nous évoquerons ces formations un peu plus loin.

- Une partie des limons qui recouvrent les basses plaines (à l'exception des lits majeurs (2)) montre l'existence de grains nettement éolisés. Cependant, leur nombre est le plus souvent subordonné à celui des grains fluviatiles. Par ailleurs, les caractères morphologiques d'ensemble de ces limons en font des dépôts fluviatiles, comme on l'a vu précédemment. On a donc affaire, dans ce cas, à des alluvions mises en place par les cours d'eau mais plus ou moins nettement remaniées par le vent. Elles s'observent tout particulièrement sur le palier supérieur de la

(1) Ces résultats doivent beaucoup à l'amabilité de L. LE RIBAULT (Laboratoire de sédimentologie, Université de Paris-Sud) que nous tenons à remercier tout particulièrement. On a opéré sur la fraction sableuse comprise entre 500 et 1 000 μ après nettoyage à HCl 30 % à froid et bref passage aux ultra-sons. 15 à 25 grains en moyenne sont prélevés dans chaque lot et montés sur lame ; seule une faible partie d'entre eux a pu être observée au microscope électronique à balayage. On a considéré comme nettement éolisés les lots dans lesquels environ 1/5e au moins des sables montrent un façonnement de type éolien marqué (nombreux chocs sur les arêtes principalement, le plus souvent d'aspect frais).

(2) Dans le lit majeur de la Garonne à l'aval de Toulouse, comme à Seilh (tableau 1), on observe assez souvent une petite quantité de grains probablement éolisés mais où les cicatrices de chocs sont nettement polies par un transport aqueux ultérieur.

basse plaine garonnaise qui, au-delà de l'Hers mort se prolonge par le bas palier du plateau de Lavilledieu-Montech (1). Par contre, le palier inférieur de cette basse plaine, surtout à l'aval du confluent de l'Hers mort est sensiblement plus pauvre en quartz façonnés par le vent. A l'amont de Toulouse, ces remaniements éoliens sont beaucoup plus rares et les quelques sondages opérés au-delà de Muret et de Lagardelle-sur-Lèze n'ont pu, sauf exception, les mettre en évidence.

- Dans tous les autres cas, il n'a pas été possible de retrouver les traces d'une éolisation marquée des limons. Le figuré des grains est presque toujours de type fluviatile et caractérise aussi bien les épais placages limoneux de la nappe culminante de Lomagne que les couvertures des terrasses plus récentes. Cependant, quelques grains, jamais très abondants, apparaissent par place et témoignent d'un façonnement éolien récent (traces de chocs fraîches et départ de la pellicule de silice) ou antérieur à un remodelage par le ruissellement (polissage de cicatrices de chocs multiples et profondes). On ne peut exclure, il est vrai, que des remaniements de silice, liés aux processus de pédogénèse et postérieurs au dépôt des limons, aient pu masquer le modelé initial des grains, oblitérant de cette manière un éventuel façonnement éolien antérieur (L. LE RIBAULT, 1972 a). On observe ainsi, dès le stade des basses terrasses et plus fréquemment sur les nappes culminantes et les plateaux de piémont, des formes de corrosion ou encore des néogénèses de quartz. Toutefois, de tels phénomènes n'affectent généralement qu'une petite portion de la surface des grains et ne contrarient pas l'observation des plages indemnes ; aussi, et jusqu'à preuve du contraire, cette éventualité reste-t-elle très hasardeuse.

(1) De même d'ailleurs que sur les petits paliers de Blagnac et Beauzelle , légèrement inscrits sous la basse terrasse proprement dite.

Prélèvements	Nombre de grains observés	Façonnement fluviatile	Façonnement éolien	
			frais	poli
Nappes culminantes				
Escazeaux 30-40 cm	15	15		
Escazeaux 90-100 cm	17	16		1
Cox 50-60 cm	13	13		
Pujaudran 50-60 cm	18	16	1	1
Empeaux 40-50 cm	17	15	2	
Empeaux 90-100 cm	21	19		2
Plagnole 30-40 cm	13	12	1	
Eaunes (La Forêt) 60-70 cm	16	15		1
Gaillac-Toulza 30-40 cm	15	15		
Ganties (piémont) 25-35 cm	18	18		
Lahitère (piémont) 40-50 cm	19	19		
Hautes, moyennes et basses terrasses				
St-Sardos 40-50 cm	22	21	1	
Bouconne 50-60 cm	17	17		
Ste-Foy-de-Peyrolières 25-35 cm	18	16		2
Labastide-Clermont 60-70 cm	20	20		
Rieumes 40-50 cm	16	15		1
Le Burgaud 60-70 cm	18	17		1
Pibrac 30-40 cm	19	19		
Léguevin 25-35 cm	14	14		
Poucharamet 30-40 cm	19	18	1	
Eaunes 20-30 cm	15	15		
Miremont 40-50 cm	18	16	1	1
Les Pujols 30-40 cm	20	20		
Verdun-sur-Garonne 30-40 cm	17	17		
Forêt de Montech 20-30 cm	17	15		2
Lavilledieu 30-40 cm	16	15	1	

Tableau 1 : Etat de surface des sables quartzeux.

Prélèvements	Nombre de grains observés	Façonnement fluviatile	Façonnement éolien	
			frais	poli
Seilh 40-50 cm	18	18		
Plaisance-du-Touch 40-50 cm	16	16		
St-Hilaire 30-40 cm	14	13		1
La Bastidette 25-35 cm	18	18		
Martres-Tolosane 20-30 cm	16	16		
Mazères-sur-l'Hers 15-25 cm	19	19		
Crieu 20-30 cm	19	18		1
St-Gaudens (haute terrasse de) 40-50 cm	16	16		
Soueich (haute terrasse de) 30-40 cm	18	16	2	
Antichan - St-Girons 50-60 cm	18	17	1	
Basses plaines				
St-Nicolas-de-la-Grave 20-30 cm	17	15	2	
Castelsarrasin 40-50 cm	21	8	13	
Escatalens 50-60 cm	19	13	6	
Montech 30-40 cm	19	10	9	
Finhan 30-40 cm	14	7	7	
Grisolles (bas palier) 30-40 cm	18	15	3	
Bessens 35-45 cm	24	20	4	
Ondes 25-35 cm	19	15	4	
St-Jory 1 - 40-50 cm	17	10	7	
St-Jory 2 - 30-40 cm	14	9	4	1
Lespinasse 30-40 cm	15	6	9	
Seilh (lit majeur) 20-30 cm	18	17		1
St-Alban 30-40 cm	15	7	8	
Beauzelle 40-50 cm	17	11	6	
Toulouse-Rangueil 20-30 cm	13	7	6	

Tableau 1 : Etat de surface des sables quartzeux (suite).

Prélèvements	Nombre de grains observés	Façonnement fluviatile	Façonnement éolien	
			frais	poli
Castanet-Tolosan (vallée) 20-30 cm	16	10	6	
Toulouse-ouest 1 40-50 cm	25	25		
Toulouse-ouest 2	21	18	3	
Portet-sur-Garonne 30-40 cm	19	19		
Muret 1 - 30-40 cm	18	12	6	
Muret 2 - 20-30 cm	18	18		
Le Fauga 20-30 cm	14	14		
Noé 30-40 cm	19	19		
Martres-Tolosane 25-35 cm	15	15		
Pins-Murelet 30-40 cm	20	16	4	
Lagardelle-sur-Lèze 30-40 cm	16	16		
Les Baccarets 1 20-30 cm	18	18		
Les Baccarets 2 30-40 cm	22	22		
Canté 40-50 cm	20	14	6	
Terrefort				
Pechbusque 1 20-30 cm	20	20		
Pechbusque 2 60-70 cm	14	13		1
Fourquevaux 20-30 cm	19	18		1
Fourquevaux 50-60 cm	19	19		
Monbrun-Lauragais 20-30 cm	23	23		
Loess et talus de terrasses				
Toulouse-Pech David 250-300 cm	20	2	18	
Toulouse-Pech David 70-80 cm	18	1	17	

Tableau 1 : Etat de surface des sables quartzeux (suite).

Prélèvements	Nombre de grains observés	Façonnement fluviatile	Façonnement éolien	
			frais	poli
Pompertuzat 100-120 cm	22	2	20	
Pechbusque 130-140 cm	21	2	19	
Salles-sur-Garonne 220-250 cm	19	5	14	
Grazac 150-200 cm	17	5	11	1
Toulouse-Reynerie 220-275 cm	15	2	13	
Toulouse-Reynerie 70-90 cm	10	1	9	
Colomiers 110-120 cm	18	10	6	2
Grenade-sud (talus)	19	11	8	
Aussonne (talus sur le Gajéa)	19	9	6	4
Verdun-sud (pied de talus)	23	6	15	2

Tableau 1 : Etat de surface des sables quartzeux (fin).

Ces mêmes conclusions s'appliquent aux dépôts glissés sur les versants longs du Terrefort molassique : le polissage poussé des traces de chocs, typique du transport fluviatile ou du ruissellement, constitue apparemment le dernier stade d'évolution des quartz (1).

En définitive, l'examen des sables quartzeux vient étayer les observations morphologiques et sédimentologiques précédentes et semble témoigner d'une mise en place essentiellement fluviatile (ou par ruissellement) des couvertures limoneuses. Les quelques indices de façonnement par le vent, qui s'observent par endroit sur les niveaux anciens, dénotent sans doute des remaniements éoliens locaux (2) ; leur faiblesse et leur caractère sporadique sont cependant incompatibles avec l'hypothèse d'apports éoliens importants. Beaucoup plus nette, en revanche, est l'éolisation de larges secteurs des basses plaines, celle de la Garonne à l'aval de Toulouse en particulier. Là encore, toutefois, malgré l'ampleur sensible du phénomène, il s'agit plutôt essentiellement du remaniement sur place d'alluvions fluviatiles, que d'apports

(1) Ces traces de chocs, généralement moins polies, semble t-il, se voient également dans la molasse en place.

(2) Ces remaniements éoliens s'observent du reste aujourd'hui encore dans les champs : au cours de l'été, le vent soulève des tourbillons de poussières empruntées aux horizons supérieurs desséchés et très mal structurés des sols de boulbènes. Par ailleurs, des galets de quartzites plus ou moins éolisés ont pu être retrouvés par endroit à la surface des terrasses, notamment sur un lambeau de basse terrasse de l'Hers mort, à hauteur d'Escalquens (G. ASTRE, 1938a et communication orale), et témoignent sans doute de la phase d'éolisation responsable du dépôt des loess.

allogènes proprement dits. Au contraire, la situation et l'aspect général des placages loessiques, l'écrasante prépondérance des quartz éolisés qui les constituent, traduisent sans aucun doute une accumulation spécifique et soutenue de poussières éoliennes.

d. Les formations loessiques : des placages strictement localisés.

Les placages discontinus de loess qui, entre Montgiscard et le coteau de Pech-David, au sud-est de Toulouse, jalonnent le versant gauche de la vallée de l'Hers mort, sont connus de longue date (G. ASTRE, 1928, 1938 b, 1956). Ce sont des formations souvent épaisses (4 à 10 m), de couleur jaunâtre, à structure massive homogène sur la plus grande partie des coupes qui s'éboulent généralement par grands pans verticaux. Elles sont presque toujours calcaires (10 à 20 % de calcaire total diffus) et les carbonates s'y individualisent fréquemment sous forme de pseudomycélium et d'amas pulvérulents farineux ou, plus nettement encore, en éléments concrétionnés de taille et d'aspect variables : tubulures racinaires creuses, nodules arrondis, "poupées" dures à cristallisation rayonnante, évidées en leur centre et d'allure tourmentée (1). La grande rareté des éléments grossiers, leur granulométrie où dominent les sables fins et très fins (fig. 13 h), leurs caractères exoscopiques, dont nous venons de rendre compte, les apparentent sans aucun doute à des apports éoliens. Les quelques graviers ou galets qui, par place, apparaissent dans ces dépôts, ne s'observent le plus souvent que dans une maigre tranche superficielle, au contact du manteau limoneux glissé qui, dans bien des cas, revêt le loess. Au pied des versants, il passe latéralement à la plaine de l'Hers mort par l'intermédiaire de formations glissées qui viennent recouvrir les limons alluviaux de la vallée : ce schéma est particulièrement

(1)Cf. profil 20, en annexe.

net au bas du coteau de Bellevue, à Toulouse (fig. 15) (1). Non loin du couloir de l'Hers mort, on a pu signaler également (H. ENJALBERT, 1960 ; J. HUBSCHMAN, 1972 a) l'existence de dépôts analogues à l'intérieur même du Terrefort : c'est notamment le cas à l'est de Pechbusque où, tapis au creux d'un vallon, le loess supporte un manteau plus ou moins épais d'"argile de coulière" (fig. 16).

Cependant, d'autres formations à caractère loessique ont été reconnues ailleurs dans la région : ainsi, celles qui bordent le flanc oriental de la vallée de l'Ariège, entre le parallèle de Gaillac-Toulza et celui d'Auterive (fig. 14) (2). Dans la vallée de la Garonne, à l'amont de Toulouse, ces faciès sont beaucoup plus rares. L. MEROC (1969a) a mis en évidence un apport de ce type non loin du confluent du Volp et de la Garonne. Nous-mêmes avons pu en relever un placage localisé au sud de Salles-sur-Garonne, au sommet du versant qui regarde l'Arize. Dès la latitude de Toulouse, en revanche, ces dépôts apparaissent à nouveau de façon sporadique, comme à Toulouse-Reynerie, Colomiers, Aussonne, Merville, Grenade et Verdun-sur-Garonne.

L'important est que, dans pratiquement tous les cas, ces accumulations jalonnent les talus de terrasses où affleure généralement la molasse, plus ou moins voilée d'un manteau colluvial. Sur le versant gauche de l'Ariège, comme à Colomiers et à Aussonne, c'est le bas du talus des terrasses moyennes qui est ainsi nappé de limon éolien, lequel est le plus souvent recouvert de ma-

(1) Emplacement actuel du Centre Hospitalo-Universitaire et des nouveaux bâtiments des U.E.R. médicales.

(2) A. CAVAILLE les a notées sur les feuilles de Cazères et Saverdun de la carte géologique au 50 000°.

Figure 14 - Esquisse schématique de la répartition des formations loessiques et des limons éolisés dans l'avant-pays garonnais et ariégeois

- 1. Bordure pyrénéenne - 2. Molasse - 3. Nappes culminantes, hautes et moyennes terrasses - 4. Basses terrasses et leurs talus bordiers, basses plaines et lits majeurs - 5. Talus du palier supérieur de la basse plaine garonnaise à l'aval de Toulouse et du palier inférieur du plateau de Lavilledieu-Montech - 6. Placages loessiques - 7. Principaux secteurs éolisés des basses plaines.

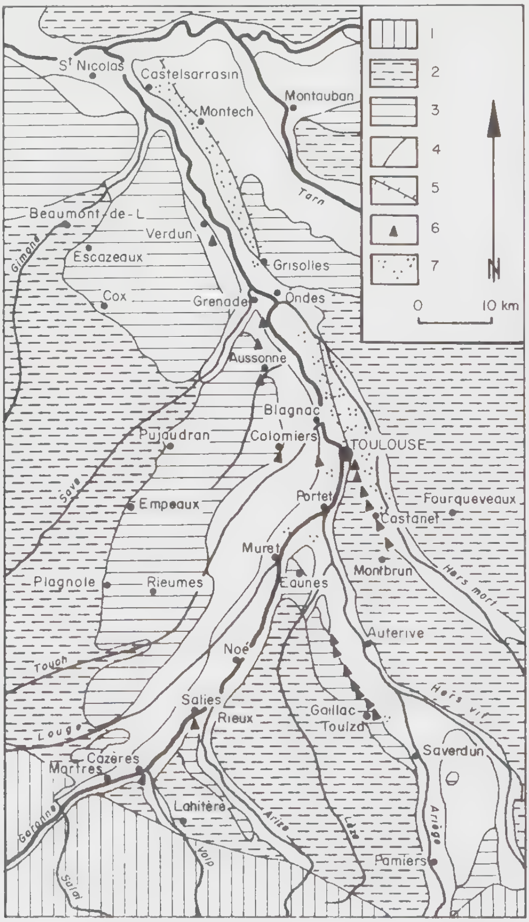


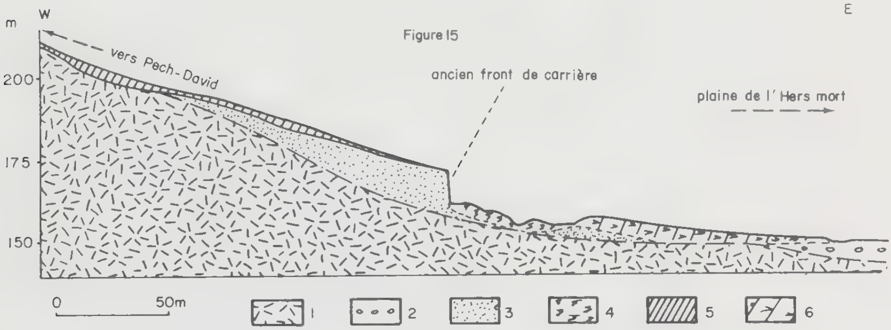
FIGURE 14

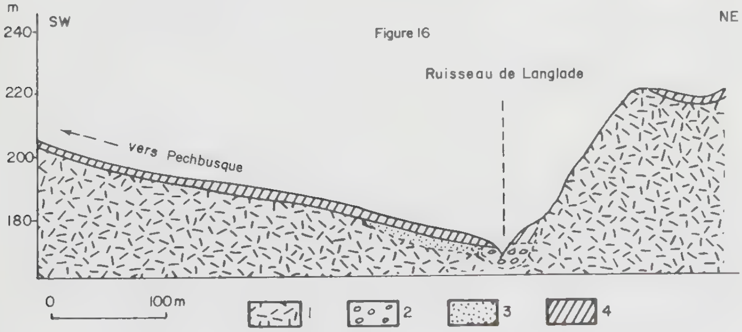
Figure 15 - Le loess à Toulouse - Bellevue

- 1. Molasse - 2. Plaine alluviale de l'Hers mort - 3. Loess - 4. Eboulis de l'ancien front de carrière - 5. "Argile de coulière" et remaniement superficiel du loess - 6. Dépôts glissés de pied de versant, issus d'un remaniement du loess.

Figure 16 - Placage loessique dans un vallon du Terrefort molassique, sous Pechbusque

- 1. Molasse - 2. Remblaiement alluvial du ruisseau de Langlade - 3. Loess - 4. "Argile de coulière" et dépôts glissés de pied de versant.





FIGURES 15 et 16

tériaux glissés empruntés pour une part aux alluvions (1). Au-dessus de Salles-sur-Garonne, le dépôt éolien est situé à proximité immédiate de la falaise molassique que vient saper, tout en bas, un petit méandre du fleuve, et repose pour l'essentiel sur un lambeau de terrasse moyenne de l'Arize (fig. 17). Au nord de Merville, à Villeneuve, la molasse apparaît à la faveur du petit vallon de Mourlanes, qui s'encoche sensiblement dans la terrasse moyenne de la Garonne : déposé sur le versant de ce vallon, le limon éolien semble l'avoir débordé par le haut et aurait recouvert localement la bordure immédiate de la terrasse (2). Il en est de même au sud de Verdun-sur-Garonne (entre Lafitte et Saint-Martin) ou au sud de Grenade (au lieu-dit Port-haut), où le talus de molasse stampienne qui entaille la basse terrasse montre à son sommet un matériel limoneux fortement éolisé. Enfin, à Toulouse-Reynerie (quartiers du Mirail), une formation à caractère loessique revêt le pied du talus interne de la basse terrasse garonnaise et se prolonge vers l'est sur une vingtaine de mètres, recouvrant ainsi le matériel de la basse plaine et passant latéralement aux limons alluviaux classiques (fig. 18).

Dans tous ces dépôts, si, comme on l'a vu, l'éolisation récente est manifeste, elle semble toutefois un peu moins poussée que dans les loess plus typiques de la vallée de l'Hers mort. Par ailleurs, la présence épisodique de graviers ou de galets, la structure localement litée du matériel, signalent l'intervention, plus ou moins

(1) Lors de la construction de l'Hôpital de Purpan, E.CHAPUT (1928) aurait observé des "limons loessiques" au bas du talus de la basse terrasse garonnaise.

(2) J. WILBERT et les pédologues de la Compagnie nationale d'aménagement des coteaux de Gascogne auraient retrouvé ce dépôt éolien à Villeneuve. Nous n'avons pu l'observer, les tranchées étant aujourd'hui remblayées.

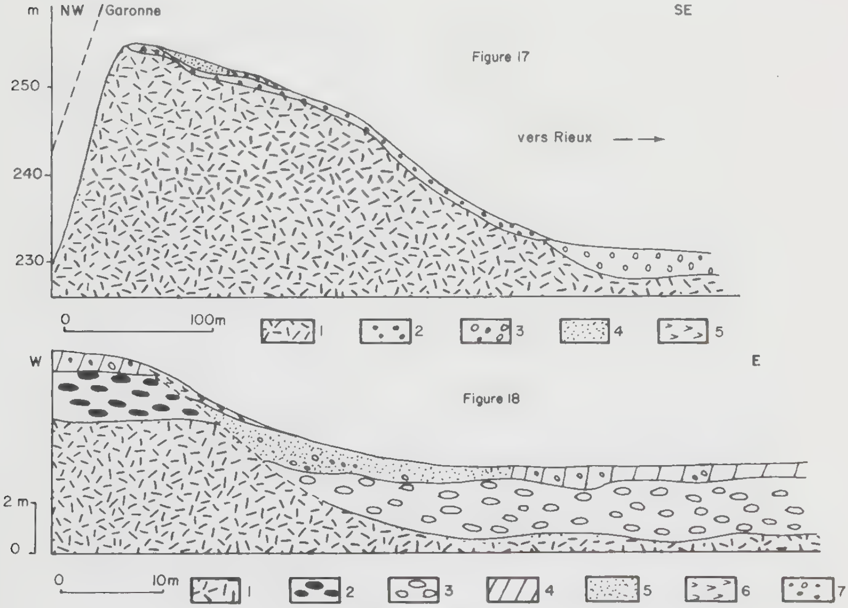
Figure 17 - Placage loessique localisé, au-dessus de Salles-sur-Garonne

- 1. Molasse - 2. Eléments résiduels glissés de la terrasse moyenne de l'Arize - 3. Basse terrasse de l'Arize - 4. Formation loessique - 5. Dépôts glissés remaniés du loess.

Figure 18 - Dépôt à faciès loessique, au pied du talus de la basse terrasse garonnaise (Toulouse-Reynerie)

- 1. Molasse - 2. Nappe graveleuse de la basse terrasse - 3. Nappe graveleuse de la basse plaine - 4. Couvertures limoneuses - 5. Formation à faciès loessique - 6. Matériel glissé de la basse terrasse - 7. Galets, graviers et gravillons inclus dans les limons et dans la formation loessique.

Le loess passe latéralement à un limon alluvial "classique" non ou faiblement éolisé, et recouvre les alluvions caillouteuses de la basse plaine.



FIGURES 17 et 18

marquée selon les cas, du ruissellement ; leur mise en place pourrait ainsi être qualifiée d'hydro-éolienne.

Sans doute tous ces limons, apportés ou façonnés par le vent, témoignent-ils d'une phase importante d'éolisation au cours du Quaternaire : il nous faudra en rendre compte dans la suite de cet exposé. Cependant, alors que l'existence même des loess a pu être invoquée pour renforcer l'hypothèse d'une mise en place éolienne de l'ensemble des couvertures limoneuses, la stricte localisation des placages à faciès loessique nous semble démontrer, au contraire, le caractère exceptionnel du phénomène qui en est la cause. Tout indique en effet qu'ils sont étroitement tributaires des affleurements molassiques, talus de terrasses ou versants du Terrefort, toujours situés à proximité immédiate des gisements, et dans lesquels le vent aura prélevé, pour l'essentiel, les poussières accumulées presque sur place ou tout près de la source. Du reste, n'était leur granulométrie et les faciès de ségrégation du calcaire, la composition de ces dépôts est très proche de celle de la molasse : les taux de calcaire diffus sont comparables et nous avons pu montrer la similitude des stocks de minéraux argileux (J. HUBSCHMAN, 1972 a). L'hypothèse d'un apport massif de poussières éoliennes, apportées par les vents d'ouest, telle qu'elle a pu être envisagée auparavant (D. FAUCHER, 1931 ; H. ENJALBERT, 1960), ne nous semble donc pas soutenable, pour ce qui concerne du moins les placages en question : on comprendrait mal, en effet, que les vastes plaines alluviales aient échappé, pour l'essentiel, à un phénomène aussi général, alors que les conditions de dépôt des poussières n'y apparaissent pas, somme toute, tellement plus mauvaises que les sites de talus de terrasses. G. ASTRE (1972), pour sa part, verrait plutôt, dans les loess de l'Hers mort, l'influence des vents de secteur est et sud-est ; mais la genèse de certains placages s'explique alors dif-

ficilement, comme par exemple au-dessus de Salles-sur-Garonne, où la falaise molassique regarde vers l'ouest, donc sous le vent de secteur est. En fait, quelle qu'ait été la direction des vents dominants, l'important est que tous ces dépôts, loess ou limons façonnés par le vent, témoignent d'actions éoliennes relativement soutenues qui n'ont pu se manifester que là où se combinaient des conditions topographiques et bioclimatiques particulières. Les implications, tant stratigraphiques que paléoclimatiques qui en découlent, seront abordées dans la troisième partie de ce travail.

B. Limons autochtones ou limons remaniés ?

L'hypothèse d'apports éoliens puissants et généralisés dans le domaine garonnais et ariégeois ayant été écartée, les problèmes relatifs à l'origine des couvertures limoneuses n'en sont pas pour autant épuisés. Les manteaux meubles qui tapissent les niveaux de terrasses, en effet, ne représenteraient pas nécessairement la phase terminale des épandages alluviaux. Sur les terrasses anciennes (1), ils proviendraient en revanche d'un remaniement énergique de la matrice du substratum graveleux, laquelle, dès le stade des moyennes terrasses de l'avant pays, présente effectivement une texture beaucoup plus fine que dans les graves plus récentes. Dans un domaine voisin du nôtre, cette thèse a pu être soutenue notamment par C. THIBAULT (1970) et par M. ICOLE (1971 a, 1973). Ces auteurs, constatant la faible différence d'altération

(1) Tout au moins celles qui sont antérieures au stade des basses terrasses de l'avant-pays. Ces remaniements, attribués aux "actions périglaciaires", à l'effet du ruissellement, aux mouvements internes du sol, seraient relativement récents et généralement postérieurs au stade équivalent à celui des terrasses moyennes de l'avant-pays, représenté le long du Gave de Pau par la nappe de Pont-Long.

des limons d'un niveau à l'autre, invoquent entre autres arguments, les trouvailles archéologiques, jamais antérieures à l'Acheuléen, qui y ont été faites. Outre que cette forme de "sous-tirage" généralisé du matériel fin à partir des graves apparaît, en première analyse, comme difficilement démontrable, on pourrait longuement épiloguer sur cette question et rechercher, parmi les seules données de l'observation macroscopique des dépôts, les faits qui s'opposent à une telle interprétation. Nous nous bornerons simplement à présenter deux points principaux, tous deux relatifs à ces "traceurs" que constituent les minéraux lourds et argileux.

a. En ce qui concerne les minéraux lourds, on ne doit pas s'attendre, dans l'avant-pays molassique tout au moins, à ce que les cortèges montrent des différences tranchées d'une formation à l'autre (1). Molasses, graves et limons alluviaux proviennent en effet presque toujours de l'érosion des versants pyrénéens, dont les roches ont livré en vrac leurs minéraux constitutifs, que l'on retrouve en proportions plus ou moins importantes dans l'un ou l'autre dépôt. Cependant, cette réserve étant faite, il n'est pas interdit de penser que, si les couvertures limoneuses représentent effectivement une formation autochtone, elles puissent se différencier plus ou moins nettement, pour ce qui est de leur minéraux lourds, des cailloutis inférieurs. Au contraire, si les limons ne forment qu'un remaniement de la matrice des graves, les associations minérales devraient être identiques. Nous avons procédé à une étude succinte de ces cortèges (2) en plusieurs points de la

(1) A moins peut-être de procéder à de très nombreux examens, comme l'a fait S. DUPLAIX (1956) sur la bordure des Pyrénées occidentales.

(2) L'essentiel des comptages a été effectué au Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. à Caen, dont nous tenons à remercier particulièrement les responsables. La méthode utilisée est celle de S. DUPLAIX (1958), les pourcentages globaux étant calculés à partir du poids des échantillons.

Espèces	couverture limoneuse						nappe graveleuse	
	10 - 30 cm		50 - 60 cm		140 - 150 cm		200 - 220 cm	
	N	%	N	%	N	%	N	%
amphiboles (hornblende)	1 378	7,2	780	4,5	360	2,5	202	1,1
épidote	7 584	39,5	6 972	40,3	5 562	38,9	2 424	12,9
tourmaline	2 268	11,8	2 362	13,6	1 917	13,4	1 583	8,5
zircon	1 291	6,7	723	4,2	723	5,0	1 936	10,4
rutile	605	3,1	180	1,0	723	5,0	910	4,9
anatase	0	0	180	1,0	216	1,5	505	2,7
grenats	1 981	10,3	1 032	5,9	882	6,2	0	0
andalousite	2 937	15,3	4 515	26,1	2 772	19,4	10 396	55,6
staurodite	878	4,6	486	2,8	768	5,4	726	3,9
disthène	0	0	6	0	0	0	0	0
sillimanite	176	0,9	0	0	219	1,5	0	0
corindon	87	0,4	0	0	3	0	0	0
monazite	0	0	60	0,3	144	1,0	0	0
Total	19 185	100	17 296	100	14 289	100	18 682	100

Tableau 2 A - Cortèges de minéraux lourds (nappe culminante garonnaise, environs de Pujaudran). N : nombre total de grains calculé, dans la fraction lourde des échantillons.

Espèces	couverture limoneuse 75 - 85 cm		nappe graveleuse 185 - 210 cm	
	N	%	N	%
amphiboles (hornblende)	332	5,0	8	0
épidote	1 474	22,3	540	5,2
tourmaline	1 209	18,3	1 664	16,2
zircon	420	6,3	1 284	12,5
rutile	213	3,2	524	5,1
anatase	120	1,8	260	2,5
grenats	332	5,0	44	0,4
andalousite	2 032	30,8	4 760	46,2
staurodite	442	6,7	1 032	10,0
sillimanite	0	0	36	0,3
monazite	30	0,4	108	1,0
cassitérite	0	0	36	0,3
Total	6 604	100	10296	100

Tableau 2 B - Cortèges de minéraux lourds (nappe culminante de Lomagne, environs d'Escazeaux).

Espèces	couverture limoneuse				molasse helvétienne	
	40 - 60 cm		60 - 80 cm			
	N	%	N	%	N	%
amphiboles (hornblende)	890	8,6	690	5,5	504	4,5
épidote	3 311	31,9	3 468	27,8	2 880	25,9
tourmaline	1 361	13,1	2 028	16,2	1 479	13,3
zircon	356	3,4	765	6,1	846	7,6
rutile	182	1,7	285	2,3	597	5,4
anatase	178	1,7	69	0,5	252	2,3
brookite	0	0	0	0	84	0,7
grenats	803	7,7	855	6,8	681	6,1
andalousite	2 909	28,0	3 522	28,2	2 991	26,9
staurotide	382	3,7	729	5,8	711	6,4
disthène	0	0	75	0,6	84	0,7
sillimanite	2	0	3	0	6	0
Total	10 376	100	12 489	100	11 115	100

Tableau 2 C - Cortèges de minéraux lourds (nappe culminante garonnaise, environs d'Empeaux).

Espèces	couverture limoneuse						molasse stampienne	
	0 - 15 cm		50 - 60 cm		60 - 75 cm			
	N	%	N	%	N	%	N	%
amphiboles (hornblende)	1 684	7,3	2 072	12,2	1 124	10,1	896	3,5
épidote	8 525	36,8	6 406	37,6	4 422	39,8	15 420	59,8
tourmaline	3 917	16,9	1 546	9,1	1 764	15,9	920	3,6
zircon	424	1,8	272	1,6	420	3,8	660	2,6
rutile	4	0	454	2,7	212	1,9	220	0,8
anatase	315	1,4	270	1,6	70	0,6	220	0,8
brookite	0	0	0	0	70	0,6	0	0
grenats	2 023	8,7	1 648	9,7	778	7,0	1 792	6,9
andalousite	5 037	21,7	3 622	21,3	1 722	15,5	5 149	19,9
staurotide	1 122	4,8	746	4,4	518	4,7	504	1,9
spinelle	105	0,4	0	0	0	0	0	0
Total	23 156	100	17 036	100	11 100	100	25 781	100

Tableau 2 D - Cortèges de minéraux lourds (terrasse moyenne de la Garonne, environs de Pibrac).

Figure 19 - Importance respective de quelques espèces marquantes de minéraux lourds dans les couvertures limoneuses, les matrices fines des alluvions caillouteuses et la molasse : exemple de la nappe culminante garonnaise

- a. Epidotes - b. Grenats - c. Andalousites

- A. Environs de Pujaudran - 1, 2, 3. Couverture limoneuse - 4. Matrice des graves.

- B. Nappe de Lomagne, environs d'Escazeaux - 1. Couverture limoneuse - 2. Matrice des graves.

- C. Environs d'Empeaux - 1, 2. Couverture limoneuse - 3. Molasse helvétienne.

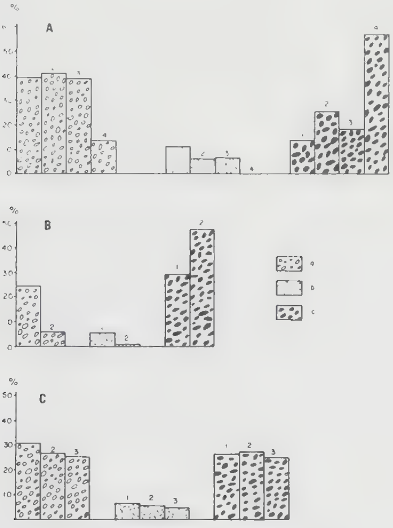


FIGURE 19

nappe culminante garonnaise, là où les lanières de plateau sont les mieux conservées (tableau 2 A, B, C). On remarque une différence assez sensible dans la composition des stocks du limon et de la grave. Si l'on s'en tient aux espèces les plus marquantes (fig. 19 A et B), on constate que l'épidote et les grenats sont beaucoup mieux représentés dans les limons, au point que les grenats sont pratiquement absents des cailloutis, tandis qu'inversement, l'andalousite est plus abondante dans la grave. En revanche, les cortèges des limons sont beaucoup plus proches de ceux qui caractérisent les molasses (tableau 2 C, D ; fig. 19 C), dont la composition reflète assez bien, à cet égard, les inventaires établis par A. VATAN (1945, 1948) (1) : l'origine molassique de la plupart des couvertures limoneuses de l'avant-pays est donc fort probable, comme le laissait du reste supposer l'omniprésence de la molasse dès les chaînons prépyrénéens. Il est vrai, cependant, que ces quelques données sont beaucoup trop insuffisantes : elles constituent un élément de présomption, mais ne permettent pas de se prononcer en toute certitude.

b. Beaucoup plus probants, en revanche, apparaissent les enseignements relatifs aux minéraux argileux. Deux cas peuvent se présenter. Le premier concerne les nappes aux formes encore bien conservées : surfaces planes des hautes et moyennes terrasses de l'avant-pays ; étroites lanières au profil tendu des niveaux culminants. Les analyses font clairement ressortir l'absence de parenté entre les minéraux argileux des limons et ceux de la matrice des cailloutis, dès le stade des terrasses moyennes de l'avant-pays (2).

(1) On notera la relative importance de l'épidote, minéral pourtant plus fragile que l'andalousite, dans les limons et, dans une moindre mesure, dans les matrices graveleuses ; il est vrai qu'elle peut résulter de l'altération des pyroxènes. Par ailleurs, on remarquera que la hornblende, considérée par A. VATAN comme rare dans la molasse, n'est pas négligeable dans ces formations.

(2) Pour ce qui concerne les argiles, les principaux résultats sont regroupés dans les chapitres suivants, où sont inventoriés les types de sols et d'altération.

Dans les limons (1) dominent l'illite, les minéraux du type vermiculite et ses interstratifiés, la chlorite-Al ou les intergrades-Al. Au contraire, la kaolinite, souvent très mal cristallisée, abonde presque partout dans les graves, alors qu'elle ne se manifeste que très discrètement ou épisodiquement dans la plupart des matériaux fins de surface. On a donc là la preuve que, dans l'ensemble, les couvertures limoneuses représentent effectivement des formations autochtones et indépendantes, quant à leur nature, des graves sur lesquelles elles reposent.

Partout ailleurs, on a affaire à des secteurs visiblement remaniés et érodés des nappes alluviales : rebords des talus de terrasses et des versants de vallons, couverts de limons emballant par endroit des éléments caillouteux de la grave, comme on l'observe souvent sur les nappes culminantes ; et surtout, plateaux de piémont à la surface ondulée, recouverts de matériel fin mêlé de galets et ourlés par des vallons empâtés de limons. Dans ce cas, la présence de quantités importantes de minéraux kaoliniques traduit manifestement un remaniement de la matrice des cailloutis, consécutif au démantèlement des nappes. Ceci est singulièrement évident sur les plateaux de piémont où, presque partout, la couverture limoneuse montre une kaolinite abondante et bien cristallisée. Notons enfin que, sur les hautes et moyennes terrasses de l'avant-pays, comme d'ailleurs sur la "haute" terrasse de Saint-Gaudens-Montsaunès, la kaolinite peut apparaître par endroit dans les limons, même en secteur à topographie plane, mais seulement lorsque la couverture fine est chargée d'éléments grossiers altérés, résidus de roches cristallines grenues en particulier.

(1) Et également dans la molasse altérée.

En définitive, l'existence même de tous ces secteurs de remaniement des limons, qui n'apparaissent, répétons-le, que sur les parties démantelées des nappes alluviales, raffermit notre conviction : là où les niveaux de terrasses présentent, aujourd'hui encore, une topographie d'ensemble plane, les couvertures limoneuses correspondent sans aucun doute à la phase terminale des remblaiements fluviatiles. Autant dire que nous ne partageons pas l'opinion selon laquelle, sur les terrasses anciennes, les profils pédologiques développés dans les matériaux caillouteux seraient systématiquement "tronqués" sous leur manteau fin de mise en place récente (H. ALIMEN, 1964 ; M. ICOLE, 1971 a, 1973). Au contraire, chaque fois qu'un remaniement important n'est pas démontrable (et nous avons vu que la démonstration en est possible), le couple limon-graves nous semble devoir être considéré comme reproduisant, peu ou prou, la disposition originelle des dépôts alluviaux. Arguera-t-on de la faible résistance à l'érosion de ces limons et de la difficulté qu'il y aurait à envisager leur conservation sur des niveaux aussi anciens, par exemple, que ceux des nappes culminantes de l'avant-pays ? Il suffit, pour répondre à cela, de jeter un coup d'oeil sur les cartes géologiques : les secteurs plans des terrasses les plus élevées et notamment des nappes culminantes, ne couvrent que des superficies dérisoires en regard de leur extension primitive. Sur la fig. 7, les limites de la nappe culminante garonnaise, telles qu'elles apparaissent sur le croquis, ne dessinent qu'une enveloppe très approximative du manteau alluvial originel ; en réalité, près de 90 % de la surface affectée sur cette carte à la nappe culminante, ressortissent à des secteurs défoncés par les vallons, sur la bordure desquels affleurent les graves, plus ou moins décapées, et dont les versants sont tapissés de formations remaniées. C'est dire toute l'ampleur des phénomènes érosifs postérieurs au dépôt de la nappe, qui n'ont épargné que quelques crêtes allongées, sortes d'étroites buttes-témoins où s'observent

précisément les limons reposant sur les graves. Plus bas, sur les hautes et plus encore sur les moyennes terrasses de l'avant-pays, les zones indemnes sont beaucoup plus larges : matériel fin et cailloutis non ou peu dérangés y couvrent de vastes secteurs. Cela signifie-t-il que, quelles qu'aient pu être les circonstances, les couvertures limoneuses apparemment "en place" n'aient pas enregistré, au cours des temps, l'effet du ruissellement (sinon celui, beaucoup plus exceptionnel, du vent) ? Quelques indices, de valeur inégale, semblent prouver qu'il n'en a pas toujours été ainsi.

C. Plusieurs générations de limons ?

Cette question ne laisse pas d'être équivoque. S'il s'agit de dire que, à l'échelle du Quaternaire et au sommet des graves alluviales, il existe autant de générations de limons que de grands niveaux de terrasses, les développements précédents ne laissent aucun doute à ce sujet, et la réponse est affirmative : les arguments d'ordre pédologique, concernant le faible gradient d'altération des limons d'un niveau à l'autre, dès le stade des basses ou moyennes terrasses de l'avant-pays, ne sont pas irréfutables et une explication pourra en être proposée dans la troisième partie de ce travail.

Toutefois, ce constat établi, force est de reconnaître que les couvertures fines ont pu être mobilisées à une ou plusieurs reprises postérieurement à leur dépôt, tout particulièrement lorsque les conditions topographiques étaient favorables, comme en témoignent précisément les remaniements que nous venons d'évoquer un peu plus haut. De même, si sur les secteurs de terrasses bien conservés, la surface apparaît essentiellement plane, à grande échelle, elle n'en montre pas moins, en de nombreux points, un modelé de détail d'autant mieux exprimé que le niveau est plus ancien ou plus dégradé : petits talus limitant

les paliers, légères ondulations, discrètes et molles incisions des ruisselets superficiels intermittents, accidentent çà et là la topographie. De fait, les couvertures limoneuses peuvent revêtir, en ces lieux, des caractères singuliers. Ainsi, les couches de matériel fin sont-elles localement plus puissantes, notamment au pied des petits talus de paliers, et l'épaisseur des horizons lessivés apparaît alors plus forte qu'elle ne l'est habituellement, atteignant parfois près d'un mètre, contre 30 à 50 cm en moyenne (fig. 20) (1). A proximité, au contraire, sur les points "hauts" ou à l'inflexion des talus, on peut observer des plages où les limons ont été manifestement décapés : mince horizon lessivé et dans certains cas, lorsque la couverture fine est peu épaisse à l'origine, affleurement des éléments de la grave. Nulle part, cependant, l'évidence de recouvrements successifs ne se marque mieux que sur les plateaux de piémont : les têtes de vallons y sont matelassées de limons épais où deux ou trois générations d'épandage se distinguent, différenciées par leur couleur, leurs caractères physico-chimiques, leurs franches limites parfois jalonnées d'une ligne de galets discontinue (fig. 21) (2).

Les documents préhistoriques recueillis dans les limons de l'avant-pays, notamment sur les terrasses garonnaises, renforcent incontestablement l'hypothèse de ces remaniements. Dès 1937, H. BREUIL a reconnu l'existence de plusieurs générations de quartzites taillés : le façonnement serait de type acheuléen ancien ou moyen dans les couches plus ou moins profondes des limons de la moyenne terrasse ; dans les horizons superficiels, comme

(1) Dans la masse de ces épais horizons lessivés, s'esquisse parfois un horizon Bt secondaire plus ou moins discret, dès 30 ou 40 cm de la surface.

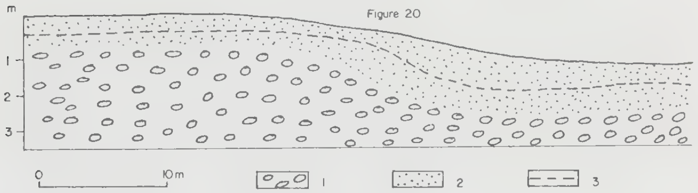
(2) Description en annexe, profil 49.

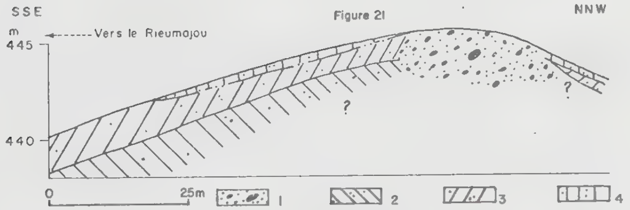
Figure 20 - Epaississement local des horizons lessivés dans les couvertures limoneuses

- 1. Alluvions graveleuses - 2. Couverture limoneuse - 3. Limite inférieure des horizons lessivés.

Figure 21 - Recouvrements limoneux successifs sur les plateaux de piémont (plateau de Figarol, sud-ouest de Leudary)

- 1. Remblaiement principal des plateaux de piémont (argile limoneuse généralement bigarrée, à galets et graviers abondants) - 2. Limon inférieur orangé - 3. Limon moyen brun-jaune - 4. Limon supérieur beige. Toutes ces formations sont plus ou moins riches en éléments grossiers, graviers quartzeux le plus souvent.





FIGURES 20 et 21

dans la couverture fine des basses terrasses, l'outillage préhistorique est attribué à l'Acheuléen récent, parfois au Moustérien. Il est donc possible que, même là où l'examen morphologique ou pédologique ne permet pas de distinguer clairement des recouvrements successifs, le manteau limoneux ait pu être remanié à une ou plusieurs reprises. Cependant, rien n'autorise à penser que ce phénomène ait été général : non seulement les témoignages d'industries anciennes sont relativement rares et relèvent de stations isolées les unes des autres, mais on imagine aisément (1) qu'ils ont dû être recueillis en priorité là où l'observation des coupes naturelles est la plus facile, lorsque routes et chemins recoupent la surface des terrasses, c'est-à-dire le plus généralement à proximité des inflexions de talus, des rebords de vallons, etc... tous emplacements également favorables, on l'a vu, à une remise en mouvement des couches superficielles du sol. Aussi n'est-on pas autrement surpris d'apprendre que le remarquable ensemble d'industries préhistoriques inventoriées par L. MEROC (1969a) dans la vallée du Volp représente, de l'avis même de l'auteur, "l'un des plus solides jalons pour l'étude et la datation des limons du bassin supérieur de la Garonne". C'est qu'en effet, dans la vallée du Volp, comme du reste dans nombre de petites vallées de la Gascogne ou du Terrefort, les conditions ne sont en rien comparables à celles qui caractérisent les plaines alluviales garonnaises ou, dans une moindre mesure, ariégeoises. Au lieu qu'elle présente, comme le long de la Garonne, de très larges secteurs plans nettement délimités les uns des autres et très souvent éloignés de plusieurs kilomètres de tout talus ou versant dominant, la vallée du Volp montre au contraire un ensemble de facteurs éminemment favorables au remaniement des couches limoneuses : étroitesse du cou-

(1) Comme nous l'a suggéré G. ASTRE en particulier.

loir alluvial, généralement inférieur à 2,5 - 3 km de largeur ; proximité du versant molassique dominant la rive gauche, sur lequel s'appuyent les lambeaux alluviaux les plus élevés ; caractère indistinct des paliers de terrasses, par ailleurs fort restreints, leur largeur étant de l'ordre de la centaine de mètres, et entaillés de nombreux vallons... A tout prendre, beaucoup plus qu'un système de terrasses étagées, la rive orientale du Volp évoque un versant long de rivière gasconne. Rien d'étonnant à ce que, dans de telles conditions, remaniements et recouvrements limoneux successifs, datés ou non par leur contenu préhistorique, constituent la règle générale (1). Etendre en revanche la portée de ces enseignements à l'ensemble d'une grande vallée comme celle de la Garonne ne nous semble absolument pas justifié.

Ainsi, s'il n'est pas question de nier ici l'existence de remaniements de la couverture fine des nappes, aboutissant localement à une stratification de plusieurs couches limoneuses, il nous faut constater que ces phénomènes ne remettent pas en cause notre interprétation générale, à savoir que dans les grands couloirs alluviaux tout au moins, les couvertures meubles de surface représentent pour l'essentiel un faciès terminal, relativement peu dérangé, de la sédimentation fluviatile (2). Quant aux remaniements eux-mêmes et pour ce qui concerne en particulier les décapages ou engraissements locaux qui résultent pour la plupart du ruissellement, les perturbations qu'ils introduisent dans le développement du profil pédo-

(1) Des conditions analogues règnent dans les vallons du Terrefort molassique, où dépôts et industries successifs se retrouvent par endroit (L. MEROC et al., 1958).

(2) Interprétation que nous partageons avec A. CAVAILLE (1965, 1969a).

logique, si elles doivent être prises en compte, ne modifient pas non plus fondamentalement notre conception de l'évolution pédologique des nappes quaternaires. Encore faut-il en jeter les bases et définir les principaux paramètres de la différenciation des profils.

3 - Les critères pédologiques de l'évolution des profils.

A. Pédogénèse et altération.

Dans les pages précédentes; il a été question à plusieurs reprises d'altération et de pédogénèse, expressions qui ont été employées parfois indifféremment l'une pour l'autre. C'est là en réalité un simple problème de définition, dont il nous faut cependant tenter de cerner rapidement les contours. En première analyse, on conçoit bien qu'il ne peut y avoir de profil pédologique différencié sans une certaine altération, c'est-à-dire sans une transformation, fût-elle ménagée, de la constitution originelle de la roche-mère. A cet égard, la simple translocation de particules fines d'un horizon à l'autre, qui se traduit le plus souvent par l'apparition d'un profil différencié, représente déjà une modalité de l'altération du matériel parental. _A fortiori_, dans les sols plus évolués où apparaissent, par exemple, des formes de redistribution ou de ségrégation du fer, des modifications dans la garniture ionique du complexe absorbant, ou encore des transformations de minéraux argileux, l'altération est manifeste et ses caractères se confondent, pour l'essentiel, avec ceux de la pédogénèse. Cela dit, il est clair que, dans bien des cas, l'altération, au sens absolu de ce terme, se distingue de la pédogénèse, ne serait-ce que pour définir l'état de décomposition d'une roche ou d'un galet fluviatile. De la même manière, dans les nappes détritiques quaternaires, on sera amené à décrire et à apprécier certaines transformations ponctuelles affectant les éléments caillouteux des graves. Cependant, si des problèmes de dé-

finition se posent à ce niveau, c'est beaucoup plus, semble-t-il, à propos du sol que de l'altération elle-même. Certes, on conçoit sans difficulté notable que, dans la situation la plus couramment observée sur les terrasses alluviales, un sol se développe dans les limons de couverture, authentifié par son profil plus ou moins différencié et par sa matière organique de surface. Comment interpréter, en revanche, l'épaisse couche de matériaux graveleux, dont l'altération est parfois visible jusqu'à plus de 10 m de profondeur ? Dans bien des cas, il est vrai, lorsque les limons sont relativement peu épais, le sommet du cailloutis participe indiscutablement au profil superficiel et constitue alors le plus souvent tout ou partie des horizons B (1). Pour les zones plus profondes, par contre, force est de constater qu'elles échappent, pour l'essentiel, au concept traditionnel du profil pédologique, défini comme la manifestation observable ou mesurable de l'organisation des couches supérieures de la roche-mère en horizons différenciés, et résultant principalement de la combinaison des actions bioclimatiques de surface. Pourtant, doit-on nécessairement envisager les transformations qui affectent la roche-mère en profondeur comme fondamentalement distinctes de celles qui, plus haut, signalent la pédogénèse ? Si la différenciation en horizons et l'intervention des facteurs biologiques sont moins manifestes, à cette profondeur, qu'elles ne le sont à proximité de la surface, rien ne permet d'établir pour autant une franche coupure "théorique" entre tranches supérieures et tranches inférieures des profils. Du reste, on sait que dans les régions chaudes et humides du globe, les épaisses formations en place qui tapissent de larges secteurs aplanis de socle cristallin sont le plus souvent assimilées dans leur totalité à d'authentiques profils de sols, malgré les difficultés d'ordre

(1) Il en va de même, assurément, lorsque la grave, décapée ou non, affleure à la surface : le profil superficiel s'y développe entièrement.

épistémologique que soulève chez certains cette attribution (Y. CHATELIN, 1972). De fait, il nous semble que la pédogénèse, au sens traditionnel du terme, ne représente qu'une modalité particulière de l'altération globale des terrains superficiels. Elle se caractérise par son champ d'action, limité à la zone de contact entre biosphère et lithosphère, par un certain mode d'organisation du matériel, conduisant à la différenciation des horizons du "sol", pris dans son acception habituelle et par l'intervention plus ou moins massive des substances biochimiques libérées par la dégradation de la biomasse superficielle. Mais elle participe pleinement de l'altération globale qui, à son échelle propre, affecte les couches supérieures de la lithosphère, et dont les processus relèvent essentiellement de la géochimie de la surface (G. MILLOT, 1964).

En définitive, et si l'on ne tient pas à s'appesantir outre mesure sur l'aspect théorique du problème, on conviendra que les profils développés dans l'épaisseur des nappes détritiques, couvertures limoneuses comprises, ressortissent à de véritables sols, auxquels on appliquera les notations et dénominations classiques de la pédologie. On pourra, par commodité, distinguer en surface un "profil pédologique", le plus souvent établi dans les limons, et, en profondeur, un "profil d'altération" essentiellement développé dans les graves (1). Ajoutons que, même là où manifestement les roches-mères ont été perturbées (recouvrements limoneux, décapages locaux), cette convention sera maintenue par souci d'unité. Cela dit, on ne peut cependant oublier que ces profils de sols "élargis" sont presque toujours établis dans des roches-mères complexes, constituées de matériaux aux propriétés contrastées : ceci implique que d'une part, nous serons amenés, à propos des formations anciennes, à souligner les différences entre

(1) Cette distinction présente aussi l'avantage de permettre l'appellation des profils par leurs seuls caractères de surface.

l'évolution des couvertures limoneuses et celle des graves ; d'autre part, que les critères permettant d'apprécier la transformation des limons et celle des cailloutis alluviaux, ne revêtent pas, dans l'un et l'autre cas, les mêmes caractères ni la même importance.

B. Les critères de l'évolution.

Pour l'essentiel, ce sont les données de la pédologie classique qui sont utilisées. L'accent est mis en particulier sur le degré de différenciation des profils, les formes et l'intensité des redistributions d'éléments mobiles comme le fer ou le calcaire, les modalités de la garniture ionique du complexe absorbant, la nature et les transformations des minéraux argileux. Toutefois, l'estimation de l'évolution des graves requiert un certain nombre d'examens plus spécifiques, comme la reconnaissance des fronts ou gradients d'altération définis antérieurement ou l'évaluation du degré de transformation des éléments rocheux.

L'ensemble de ces observations sera présenté au fur et à mesure de l'inventaire des sols et des altérations, qui fait l'objet des chapitres suivants. Par ailleurs, plusieurs dizaines de profils ont été décrits et regroupés en annexe, assortis de leurs données analytiques (1).

(1) Les déterminations de minéraux argileux n'apparaissent pas en annexe mais sont signalées et rassemblées dans le texte. Elles proviennent essentiellement de la diffractométrie des rayons X (diffractomètre enregistreur C.G.R. ; paramètres constants : tube à anticathode de cuivre ; consommation du générateur : 8 mA ; tension : 40 KV ; haute tension du compteur : 1 500 KV ; vitesse de déroulement : 508 mm/h). Les pré-traitements sur lames d'argiles orientées sont ceux de l'analyse classique (G. MILLOT, 1964). Qu'il nous soit permis, en cette occasion, de remercier le département de Génie civil de l'I.N.S.A. de Toulouse, qui nous a donné accès à son laboratoire de minéralogie. C'est également pour nous un agréable devoir que d'exprimer notre reconnaissance aux services agronomiques de la S.C.P.A. à Toulouse, notamment à J. GADET, son directeur, et à J. DECROUX, F. FOURCASSIE et J. DUBOURG, responsables du laboratoire d'analyse des sols, d'où sont issues la plupart des données classiques (fer et aluminium exceptés) utilisées dans ce travail.

Les notations utilisées pour le repérage des horizons et la dénomination des sols sont celles de la classification française (C.P.C.S., 1967) et dans la description des profils proprement dits, on s'est tenu au vocabulaire le plus couramment employé en pareil cas (1). Cependant, l'étude détaillée des sols pour eux-mêmes ne constituant pas véritablement l'objectif fondamental de ce travail, on a pris pour diverses raisons quelque liberté avec les terminologies en vigueur. Ainsi, par exemple, les horizons d'accumulation du calcaire, notés généralement Bca, ont-ils été qualifiés de Cca pour souligner la présence de l'accumulation ou de l'individualisation des carbonates au sein de la roche-mère ou à son sommet. De même, les horizons concrétionnés par le fer ont reçu l'appellation de Bfe et non de Bcn(2)Enfin, quelle que soit l'évolution des graves profondes, on a dû se résoudre à classer l'ensemble des profils décrits par la seule dénomination relative au profil pédologique de surface : néanmoins, les stations répertoriées en annexe sont regroupées, le cas échéant, en fonction des caractères de l'altération des graves.

(1) Nombre de profils étaient déjà décrits lorsque nous eûmes connaissance du Glossaire de pédologie (O.R.S.T.O.M., 1969) : aussi, certaines appellations pourront-elles apparaître dépassées aux spécialistes du sol.

(2) ou Bm.

C H A P I T R E I V

DES EVOLUTIONS NULLFS AUX EVOLUTIONS MENAGEES

DES EVOLUTIONS NULLES AUX EVOLUTIONS MENAGEES

Si, comme on le verra plus loin, les nappes alluviales du domaine garonnais et ariégeois montrent le plus souvent des profils d'altération et de pédogénèse clairement exprimés, certaines d'entre-elles présentent en revanche tous les attributs de dépôts encore frais et peu transformés : ils s'observent essentiellement dans les lits majeurs des cours d'eau (1);

1 - Une évolution imperceptible : sols bruts et sols alluviaux brunifiés des lits majeurs.

Il s'agit ici d'une catégorie d'aspect très diversifié : limons, sables et graves passent fréquemment de l'un à l'autre et ce d'autant plus que l'on se trouve à proximité immédiate du lit actuel des cours d'eau. Du point de vue de la pédogénèse et de l'altération, les faits marquants sont les suivants :

- l'absence de profils réellement différenciés est générale (fig. 22) : aucune différenciation texturale autre que celle liée à la sédimentation fluviatile (lentilles locales plus sableuses) n'est clairement perceptible. Lorsque les profils sont calcaires (et ils le sont très souvent dans l'avant-pays molassique), les carbonates diffus s'accumulent parfois légèrement en profondeur (profil 1 et figure 22 a et d) (2), mais ce phénomène n'est pas général. Là où les dépôts sont stabilisés et abandonnés au taillis, à la prairie ou aux cultures, une certaine différenciation structurale se marque en surface, manifestement liée à la présence de matière organique : massive en profondeur, la structure est plus construite et devient plus fine dans les 10 ou 15 cm supérieurs. Le pH et la sa-

(1) Par commodité, on évoquera à part tous les types de sols du Terrefort molassique.

(2) Les profils numérotés font référence aux données rassemblées en annexe.

Figure 22 - Profils texturaux et calcaires de sols peu évolués des lits majeurs - 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Calcaire .(Pour la définition des fractions granulométriques, voir en Annexe).

Trait interrompu : limite supérieure des alluvions caillouteuses homogènes.

Les numéros des profils renvoient aux descriptions rassemblées en Annexe.

- a. Profil 1 - b. Profil 3 - c. Profil 4 - d. Profil 5 - e. Carbone (ferme Peytou), Garonne.

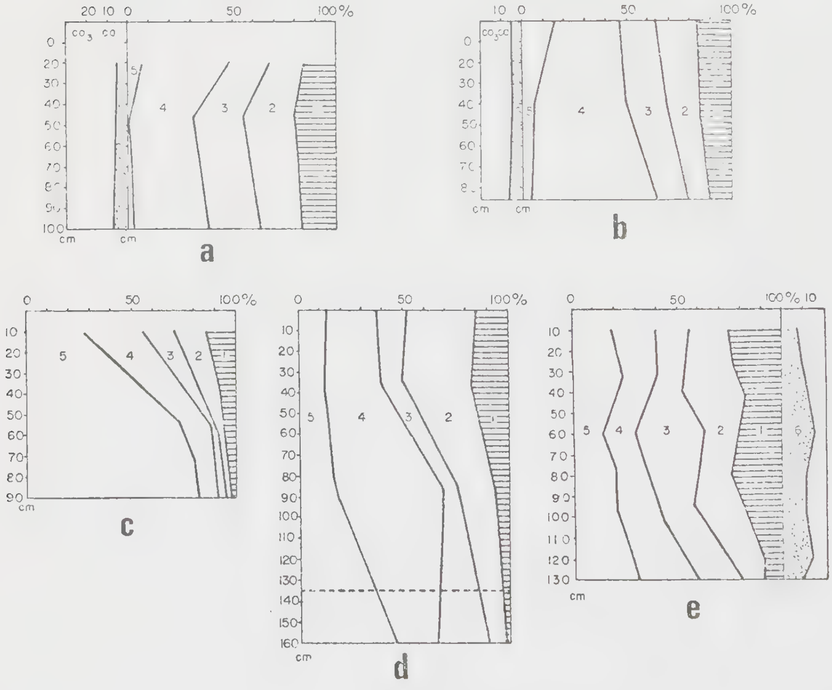


FIGURE 22

turation du complexe absorbant sont liés à la présence de calcaire dans les sols : certains sont franchement acides et désaturés, notamment à proximité de la bordure montagneuse ; dans l'ensemble de l'avant-pays molassique, cependant, les pH sont plutôt basiques ou neutres et la garniture de cations métalliques est abondante.

- Les nappes caillouteuses revêtent le plus souvent un aspect très frais et la matrice sableuse des graves montre une couleur beige clair uniforme sur l'ensemble de la coupe. Les éléments cristallins, qui dominent presque partout, ne sont guère qu'effleurés par l'altération : 1 à 5 % seulement, en moyenne, présentent des fissures et s'ouvrent, quoique assez difficilement, d'un coup de marteau : macroscopiquement ou en lames minces, les minéraux constitutifs apparaissent bien conservés, mais on peut noter localement, en particulier dans les granites à biotites, une légère exsudation rouille de fer le long de ces fissures, liée à l'amorce de la décomposition des ferro-magnésiens. Toutefois, ce phénomène est d'autant mieux exprimé que l'on se rapproche des Pyrénées et notamment sur la bordure montagneuse elle-même. Ainsi, dans le lit majeur de la Garonne, inscrit sous les niveaux de terrasses de la Plaine de Rivière, dans celui de l'Ariège entre Varilhes et Pamiers, quelques galets cristallins semblent en voie d'arénisation et montrent des exsudations de fer plus ou moins marquées. De même, et tout particulièrement dans la Plaine de Rivière, la matrice des graves, de teinte généralement terne, présente de larges poches nettement plus colorées en rouille par le fer, comme l'indiquent du reste les taux de fer libre, qui sont alors de l'ordre de 1,5 à 2 %, contre moins de 1 % en pareil cas dans les lits majeurs.

Par ailleurs, il n'est pas rare d'observer dans les coupes les formes classiques de redistribution du fer liées à l'hydromorphie : revêtements noirs ou rouille, plages décolorées à tendance grisâtre, ou légèrement bleu-

tée et verdâtre, caractérisent ainsi des horizons Cg ou II Cg à pseudogley de profondeur (1), soumis aux battements de la nappe phréatique : on les trouve notamment dans l'avant-pays molassique, à proximité des lits actuels des cours d'eau et plus particulièrement entre Toulouse et le confluent du Tarn (profil n° 3). De fait, les éléments caillouteux inclus dans ces horizons hydromorphes apparaissent souvent comme patinés et diversement colorés ; parallèlement, les galets fissurés semblent plus fragiles, tandis que revêtements rouille et noirs pénètrent à l'intérieur de la roche. A ces exceptions près, cependant, ces phénomènes demeurent superficiels et n'affectent que la surface proprement dite des éléments graveleux : un simple brossage à l'eau de ces minces revêtements suffit le plus souvent à restituer l'aspect frais habituel des cailloutis.

- Les stocks de minéraux argileux sont très diversifiés : illite surtout, chlorite et interstratifiés de l'illite, de la chlorite et de la vermiculite, plus rarement un peu de kaolinite, cette dernière d'ailleurs difficilement reconnaissable dans les mélanges où elle ne joue qu'un rôle marginal (2). Dans un profil donné, aucune variation sensible, liée à la pédogénèse, n'est réellement détectable d'un horizon à l'autre. On note souvent que la chlorite

(1) On observe parfois de véritables horizons à gley exclusivement gris-verdâtres, comme à l'aval de Toulouse, lorsque le socle molassique est proche de la surface.

(2) Par convention, nous désignons par illite l'ensemble des structures cristallines bâties sur le type mica (réflexion basale stable vers 10 Å). De même, le terme kaolinite qualifiera-t-il l'ensemble des minéraux de la famille de la kaolinite, définis par leurs raies (001) à 7,2 Å et (002) à 3,58 Å.

apparaît plus nettement dans la matrice des cailloutis que dans les couvertures fines de surface, plus riches en interstratifiés. Cependant, la montmorillonite et les interstratifiés gonflants caractérisent nombre de profils de l'avant-pays molassique, tout au moins leurs horizons limoneux. Pour ces minéraux non plus, il n'existe pas de modifications sensibles le long du profil et la montmorillinite est généralement aussi abondante en surface qu'elle l'est plus en profondeur (tableau 3).

Profils		Illite	Chlorite	Kaolinite	Montmorillonite	Interstratifiés
nac	0- 15 cm	F	m	-	F	m
	17- 50 cm	F	M	-	M	f
	50- 90 cm	M	m	f	F	M
lh	20- 30 cm	F	m	-	F	-
	40- 50 cm	F	m	f	F	-
	90-100 cm	F	m	-	M	f
bonne	10- 30 cm	M	f	-	M	F
	30- 50 cm	F	m	f	F	M
	50- 70 cm	M	m	-	M	M
	90-110 cm	F	M	-	m	F

Tableau 3 : Minéraux argileux des sols peu évolués (abondance : F, fort ; M, moyen-fort ; m, moyen-faible ; f, faible).

Toutes ces formations, assimilables en première analyse à des sols peu évolués d'apport alluvial, caractérisent banquettes, "plages" et ramiers des lits majeurs sensu stricto (1). Cependant, nombre d'étroits paliers de terrasses, plus ou moins nettement inscrits sous les larges niveaux des basses plaines, montrent des profils sem-

(1) Comme du reste le fond du bassin de Barbazan, tapissé de limons souvent calciques, sinon calcaires, et les terrasses ariégeoises sableuses et graveleuses, à l'amont de Garrabet, qui se prolongent jusqu'à Foix sous les niveaux de terrasses du Courbet, vers l'aval.

blables. Ainsi en est-il, dans l'avant-pays molassique, pour certains éléments de terrasses, distincts des lits majeurs proprement dits et lovés à l'intérieur des petits méandres des cours d'eau, comme à l'amont de Noé, sur la Garonne, et particulièrement entre Cazères et Capens. On retrouve un modèle identique le long de l'Ariège, à ceci près que ces étroites lanières de plaines bordières à sols peu évolués sont plus continues, tout au moins à l'amont, depuis Varilhes jusqu'à hauteur du Vernet d'Ariège, montrant même, comme à Faure-Jean, une succession d'étroits gradins étagés, inscrits sous la Grausse de Pamiers.
Vers l'aval, ces niveaux tendent à disparaître et l'on ne retrouve plus guère, comme sur la Garonne, que des éléments discontinus logés dans les méandres (Château de Larlenque).

Cependant, à l'aval de Toulouse, les sols peu évolués ne s'étendent pas seulement dans un lit majeur sensiblement plus large ici qu'à l'amont ; ils caractérisent aussi certains secteurs internes de la basse plaine elle-même, sans que, le plus souvent, ni la topographie, ni l'existence d'une ligne de talus, fût-elle discontinue, permette de distinguer clairement la limite entre ces formations et celles qui tapissent le reste de la basse plaine. Ainsi en est-il, par exemple, dans la banlieue nord de Toulouse, pour la zone qui va des Sept-Deniers à Ginestous, de même que, entre Blagnac et Beauzelle , pour la petite plaine dominée par le château de Riou. Jusqu'au confluent du Tarn et plus encore dans la moyenne Garonne, des surfaces relativement importantes, si l'on considère leur faible extension à l'amont de Toulouse, sont occupées par des sols peu évolués. N'était certains traits relatifs à l'altération des éléments cristallins, ces profils ne diffèrent pas fondamentalement de ceux qui caractérisent certains dépôts glaciaires de la bordure pyrénéenne.

2 - Une évolution fort discrète : les constructions glaciaires et fluvio-glaciaires de la bordure pyrénéenne.

Le vallum de La Serre et ses bourrelets latéraux, qui barrent la cluse de Bazert, dans la vallée de la Garonne, le complexe morainique de Garrabet, Arignac et La Bernière, sur les bords de l'Ariège, représentent, on l'a vu, des formes de remblaiement glaciaire parmi les plus typiques et les mieux conservées du domaine garonnais et ariégeois. Extrême hétérométrie du matériel, ampleur limitée des constructions, en constituent les traits principaux. Les profils qui y sont développés n'offrent guère de différenciation majeure, notamment texturale, et ressortissent le plus souvent à des sols bruns modaux ou des sols bruns acides (profils n° 6 et 7). Ils se distinguent en cela des sols peu évolués dans lesquels la brunification n'affecte qu'un mince horizon superficiel. Ici, en revanche, ce phénomène est plus clairement apparent et, pour peu que l'abondance de gros blocs en surface ne soit pas excessive, l'épipédon mollique à structure fine et de couleur sombre occupe le plus souvent les 15 à 20 cm superficiels des profils (1). Par place, des blocs ou galets calcaires mêlés aux éléments cristallins expliquent les pH basiques et la présence de carbonate dans la matrice sableuse : toutefois, les profils ne sont jamais calcaires en surface, sinon au contact même des éléments calcaires.

Cependant, les caractères d'altération de ces nappes ne sont pas non plus tout à fait identiques à ceux des sols peu évolués des lits majeurs. Ici, en effet, les galets cristallins, plus rarement les gros blocs, sont plus fréquemment fragilisés sinon arénisés dans la masse des dépôts. Ce fait est particulièrement évident dans les moraines de Garrabet et dans les bourrelets latéraux qui, à Labroquère, prolongent le vallum de la Serre : plus de 10 % des galets cristallins de taille inférieure à 25 cm

(1) Sous prairie ou taillis.

présentent ainsi ces faciès d'altération ; dans les granites à deux micas, dans les micaschistes et les gneiss à micas noirs, la biotite prend alors des teintes mordorées et des plages rouille se développent en surface et à l'intérieur des galets. Par contre, exception faite de quelques spots plus vivement colorés ou de passées ocre, notamment à proximité de débris schisteux décomposés, la matrice sableuse ne diffère pas outre mesure de celle qui caractérise, par exemple, le lit majeur de la Plaine de Rivière (1). De même, les stocks de minéraux argileux, où se retrouvent pêle-mêle illite, chlorite et interstratifiés, plus rarement un peu de kaolinite ou d'interstratifiés gonflants, ne montrent guère de différence notable d'un horizon à l'autre.

La plupart de ces caractéristiques se retrouvent dans les formations fluvio-glaciaires qui s'étendent à proximité des moraines, auxquelles certaines d'entre-elles se relient manifestement, ainsi dans les terrasses de Tibiran-Jaunac et de Luc, sur la Garonne, et dans les niveaux qui prolongent vers l'aval la moraine de Garrabet, sur l'Ariège : même matériel très hétérométrique, où aux blocs et galets cristallins se mêlent des éléments calcaires ; même absence de profils différenciés ; proportions comparables de cailloux cristallins fragiles ou en voie d'arénisation. Toutefois, un peu plus vers l'aval, notamment dans la Plaine de Rivière et le bassin de Foix, une certaine différenciation se marque déjà dans les profils.

(1) On n'observe pas de profil ferrugineux différencié, comme c'est le cas notamment dans les basses plaines de l'avant-pays ; les teneurs en fer libre, de même que les taux de libération du fer montrent une grande variabilité d'un point à l'autre, sans qu'on puisse en tirer des conclusions générales.

3 - Une évolution ménagée : les grandes constructions alluviales de la bordure pyrénéenne.

De fait, les épaisses alluvions qui tapissent le fond de la Plaine de Rivière sont caractérisées par une association de sols bruns modaux et de sols bruns faiblement lessivés, lesquels passent de l'un à l'autre, sans qu'on puisse clairement établir une limite entre ces formations. Dans les sols bruns faiblement lessivés, le profil textural est déjà sensiblement différencié, quoique assez modérément il est vrai (profils 10 et 11 ; fig. 23 a, b). Il apparaît cependant fort nettement à la simple observation des coupes : horizons A_2 à structure légèrement massive reposant sur des horizons Bt plus fortement structurés. Si les enrobements argileux autour des agrégats sont le plus souvent assez difficiles à mettre en évidence, des revêtements d'argile tapissent et patinent généralement la surface des galets, lesquels, dans la Plaine de Rivière en particulier, se mêlent presque toujours en proportions variables au matériel limoneux superficiel. Lorsque ce dernier est peu épais (moins de 50 cm, par exemple) l'horizon B_1t se prolonge habituellement au sommet de la nappe grossière homogène, sous forme d'un II B_2t. La différenciation texturale, à vrai dire, se traduit également par l'indice de distribution de l'argile, entre les horizons A et B ; il est généralement de l'ordre de 1,2 à 1,3. Parallèlement, et dans une proportion analogue, le fer libre s'accumule dans les horizons Bt.

Les caractères d'altération des galets ou des blocs de la nappe caillouteuse sont assez proches, pour l'essentiel, de ceux qui s'observent dans les dépôts morainiques : régulièrement, 10 % environ des éléments cristallins sont partiellement ou, parfois, entièrement fragilisés, et montrent des plages ocre et rouille, lesquelles se retrouvent aussi localement dans la matrice sableuse. Cependant, sous les profils superficiels des sols bruns mo-

<u>Figure 23</u> - Profils texturaux et ferrugineux de sols bruns modaux et bruns faiblement lessivés des niveaux récents de la bordure pyrénéenne

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre .

Trait interrompu : limite supérieure des alluvions caillouteuses homogènes

- a. Profil 10 - b. Profil 11 - c. Profil 9 - d. Profil 12.

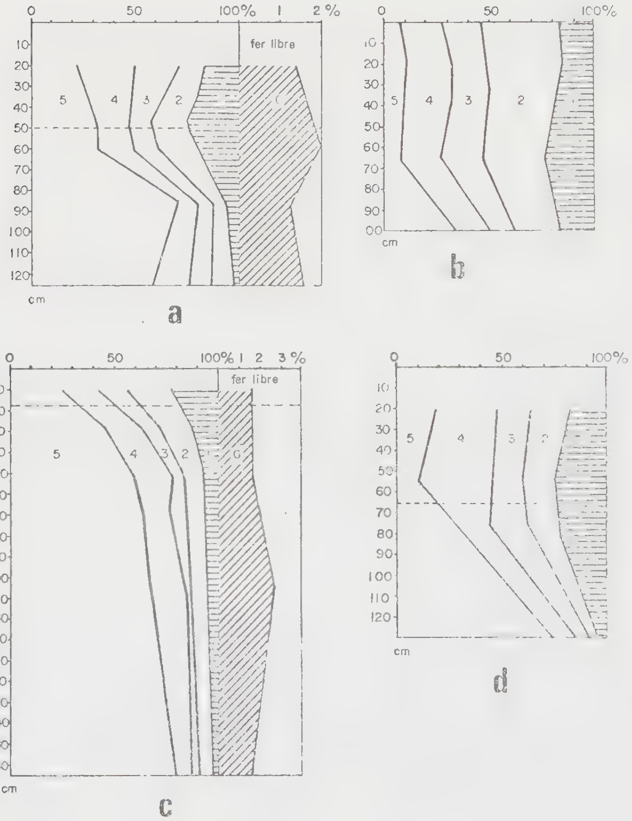


FIGURE 23

daux comme des sols bruns faiblement lessivés, la matrice de la nappe caillouteuse présente assez souvent un discret gradient de coloration, d'autant mieux perceptible que les profils sont humides : légèrement ocre jusqu'à 100-150 cm, parfois jusqu'à 2 mètres et plus, la matrice devient plus terne et plus claire en profondeur. Néanmoins, les teneurs en fer libre, non plus que les taux de libération du fer, ne traduisent pas très clairement, il est vrai, ce phénomène. Dans d'autres cas, ce n'est plus tant la coloration de la matrice qui évolue avec la profondeur, mais plutôt la proportion de galets (et parfois de blocs) cristallins altérés. Ainsi, dans les terrasses du Courbet, à Foix, si les profils superficiels ressortissent plus souvent à des sols bruns modaux qu'à des sols bruns faiblement lessivés, on note que jusqu'à 200 ou 250 cm environ, 10 à 20 % des éléments cristallins sont fragiles ou en voie d'arénisation, contre 5 à 10 % plus en profondeur, là où la matrice apparaît du reste plus pauvre en argile et en fer libre (profil n° 9 ; fig. 23 c).

Dans tous ces profils, la nature et la distribution des minéraux argileux ne revêtent généralement pas de traits spécifiques et ne diffèrent pas sensiblement de ceux qui ressortissent aux dépôts glaciaires. Par endroit s'observent quelques faciès d'hydromorphie : bigarrures grisâtres ou ocre-rouille, parfois quelques petites concrétions ferrugineuses noires et rondes, marquent ainsi des horizons Btg à pseudogley diffus (profil n° 11). Dans la Plaine de Rivière, ces faciès hydromorphes sont relativement fréquents entre Saint-Gaudens et Martres-de-Rivière. Toutefois, ils apparaissent beaucoup mieux encore à proximité d'Ardiège : là en effet, et contrairement au reste de la Plaine de Rivière, c'est un véritable manteau limoneux pauvre en éléments grossiers (1) qui recouvre les

(1) Ces limons proviennent sans doute d'apports locaux, liés aux petits ruisseaux descendant des collines calcaires crétacées.

graves. Un profil différencié de sol brun faiblement lessivé à pseudogley s'y développe, assorti, au contact des cailloutis sous-jacents, d'une esquisse d'horizon Bfe, riche en concrétions et revêtements noirs autour des agrégats et à la surface des galets, lesquels sont localement soudés entre eux par le fer. Rare dans la Plaine de Rivière, ce type d'horizon concrétionné est en revanche beaucoup plus fréquent sur d'autres niveaux de terrasses, comme on le verra par la suite.

Sols bruns faiblement lessivés et sols bruns modaux occupent ainsi des surfaces considérables à l'amont des cluses. Dans la Plaine de Rivière, tous les niveaux notés soit a^{1d}, $a^{1d'}$, $a^{1d''}$, a^{1e} sur la carte géologique au 80 000° de Saint-Gaudens, soit t2, t2', t2", t1, sur la carte géomorphologique au 50 000° de Montréjeau-sud-est, montrent des profils comparables. Plus à l'aval, de Saint-Gaudens à la cluse de Boussens et au-dessus des lits majeurs et des petites plaines bordières à sols peu évolués, ce sont toujours les mêmes formations à maigres limons caillouteux de surface qui s'étendent sur les terrasses de Miramont-Pointis-Inard, de Labarthe-Inard, de Beauchalot-Lestelle et de Saint-Martory. De ce point de vue, les sols qui tapissent les plus basses terrasses du Ger comme celles du Salat, entre Saint-Girons et le confluent, ne présentent guère de différences majeures. Au-delà de la cluse de Varilhes et en contrebas de la basse Boulbonne, la Grausse de Pamiers, caillouteuse et parsemée de galets et parfois de blocs, porte aussi le plus souvent des sols bruns faiblement lessivés (profil n° 12 ; fig. 23 d) : dès ce niveau, toutefois, les profils les plus évolués de la Grausse annoncent déjà ceux qui, plus à l'aval sur l'Ariège et au sortir immédiat de la cluse de Boussens, sur la Garonne, caractérisent les basses plaines de l'avant-pays molassique. Avant que de présenter l'évolution de ces dernières, il nous faut cependant évoquer rapidement celle de certains dépôts glaciaires.

4 - Une altération très irrégulière : hauts placages morainiques de versant et dépôts d'obturation glaciaires du bassin de Tarascon.

A. Les placages morainiques de versant.

De part et d'autre de la cluse garonnaise de Bazert, les collines du Bois de Gourdan, de Burs et d'Arrivet, sont parsemées de blocs, galets et graviers d'origine manifestement glaciaire : à plus de 500 m, parfois à près de 650 m d'altitude, quartz, quartzites, éléments de poudingues siliceux, cristallins divers se mêlent ainsi aux fragments de calcaire urgo-aptien issus de la roche en place. De même, dans la vallée de l'Ariège, les hautes pentes gneissiques qui dominent le cours d'eau montrent-elles par endroit des placages de blocs exotiques, comme à Seignaux et Montoulieu, sur la rive gauche du fleuve, ou au col de Rouy, sur le versant droit. En fait, ces manteaux morainiques, formés presque partout de simples blocs ou galets posés à même le sol, sont beaucoup trop discontinus et ne présentent pas une consistance suffisante pour que des profils d'altération puissent y être observés. Souvent, l'altération des éléments morainiques cristallins n'est guère sensible : gros blocs et galets de gneiss ou d'aplite à peine patinés en surface, comme le sont du reste les quartzites, au-dessus de la Garonne. Dans certains cas, ces éléments rocheux apparaissent comme emballés dans une matrice aux caractères variés : limono-argileuse et rougeâtre, comme au Bois de Gourdan et à Burs, par exemple ; sableuse et beige jaunâtre, comme à Montoulieu ou à Seignaux. Mais ces gangues ne peuvent être considérées comme formant la matrice primitive du dépôt glaciaire : au Bois de Gourdan, tout indique que c'est l'éluvium du calcaire urgo-aptien, variété banale de rendzine rouge plus ou moins décalcarisée et remaniée sur les pentes, qui en constitue la substance (1) ; à Montoulieu comme à

(1) Cet éluvium est composé presque exclusivement d'illite bien cristallisée, comme l'est l'argile rougeâtre issue de la dissolution du calcaire urgo-aptien au sommet de la colline de Carmont, non loin de Burs.

Seignaux, les blocs exotiques émergent de dépôts de pente manifestement issus, pour l'essentiel, d'un remaniement de l'arène gneissique qui, tout alentour, couvre les versants.

Toutefois, d'autres faciès se présentent çà et là, qui montrent que ces moraines n'offrent pas toujours un aspect aussi frais. Ainsi, au-dessus de Tibiran-Jaunac ou sur le versant méridional de la colline d'Arrivet, par exemple, des galets de gneiss ou de granite à biotite, emballés dans l'éluvium limono-argileux du calcaire urgo-aptien, sont-ils nettement fragilisés et colorés de plages rouille : certains d'entre eux, quoique rares, sont même totalement arénisés et parfois rubéfiés dans toute ou partie de la masse ; le fer libre y est alors relativement abondant (2 à 3 %) et le taux de libération du fer supérieur à 50 % (1). De même, il se trouve que, localement, la face inférieure des blocs cristallins, enfouie dans le matériel fin qui drape les versants calcaires de façon discontinue, montre des zones friables, traversées de points ou de tâches de couleur vive, comme au Bois du Couret, au sud de Mazères-sur-Neste. Des faciès semblables, quoique plus difficiles à mettre en évidence, s'observent également dans le bassin de Tarascon.

B. Les terrasses d'obturation du bassin de Tarascon.

Au nord-ouest de Tarascon, le glacier ariégeois s'est engagé dans les bassins drainés par les ruisseaux de Saurat et de la Courbière : lors de son retrait progressif, il a formé barrage pour les eaux venues de l'amont, déterminant ainsi la construction de plusieurs niveaux de terrasses d'obturation glaciaire : ainsi celles de Bédeilhac-Saurat, de Surba et de Quié (2).

(1) Les argiles formées sont essentiellement l'illite, la chlorite et les interstratifiés illite-chlorite.

(2) On pourra se reporter à l'étude de F. TAILLEFER (1960) qui a fourni une description détaillée de ces formations et de leur environnement.

Dans le bassin de Saurat, d'épaisses couches d'argiles lacustres varvées affleurent en surface, notamment à l'ouest de Bédeilhac : très calcaires, elles n'offrent guère de différenciation pédologique sensible, la structure varvée reste apparente et les sols sont peu évolués, tout au plus du type brun calcaire, avec parfois une légère accumulation de carbonates vers 50-80 cm de profondeur. La couverture fluvio-glaciaire qui repose sur ces niveaux est difficile à observer en place, d'autant qu'elle semble discontinue et d'épaisseur très variable. Néanmoins, à Bédeilhac, sur le bas versant du Rocher de Calamès, la coupe de la sablière montre plusieurs mètres d'une formation litée à sables et graviers, auxquels se mêlent çà et là des galets calcaires, cristallins et schisteux, de 5 à 15 cm de longueur. L'ensemble est très nettement calcaire (5 à 10 %, en général) et les galets sont fréquemment encroûtés de calcite sur leur face inférieure ; nombreux sont les lits cimentés par le calcaire, au point que le sommet de la coupe forme surplomb, parfois sur plus de 50 cm d'épaisseur. Cependant, 10 à 20 % des galets cristallins inclus dans les lits sableux, notamment les gneiss et granites à biotite, sont nettement fragilisés, avec des plages rouille interne et des micas noirs mordorés. Dans la formation morainique à gros blocs qui, au-dessous de la sablière de Bédeilhac, affleure sur le versant droit du ruisseau de Saurat, la matrice sableuse est presque partout calcaire : elle emballe blocs et galets, parfois encroûtés de calcite eux aussi. Là encore, quelques éléments gneissiques et granitiques offrent des caractères de friabilité et de rubéfaction incontestables. Mais ces derniers apparaissent déjà plus clairement à la sortie ouest du village de Saurat : visible dans les fondations d'immeubles, la nappe de gros galets présente une matrice sableuse peu à pas calcaire et nettement colorée en larges poches ; les éléments cristallins fragiles ou même arénisés, pour certains, y sont plus fréquents qu'à Bédeilhac, sans que l'étroitesse des coupes autorise toutefois un comptage significatif.

Sur les terrasses de Surba et de Quié, les points d'observation sont limités ; les profils superficiels, ici aussi, sont très généralement calcaires et fort peu différenciés. Au sud de Surba, la sablière, riche en galets et graviers calcaires, n'est guère très différente de celle de Bédeilhac : mêmes lits sableux cimentés, mêmes pellicules de calcite secondaire autour des galets, dont certains, gneissiques, sont en voie d'arénisation. En définitive, abondance du calcaire et forte irrégularité de l'altération caractérisent au premier chef les terrasses d'obturation glaciaire du bassin de Tarascon.

C H A P I T R E V

UNE EVOLUTION AFFIRMEE : LES SOLS BRUNS LESSIVES DES BASSES PLAINES DE L'AVANT-PAYS

UNE EVOLUTION AFFIRMEE : LES SOLS BRUNS LESSIVES DES BASSES PLAINES DE L'AVANT-PAYS.

Négligeable dans les lits majeurs des cours d'eau, encore discrète dans les niveaux alluviaux inférieurs de la bordure pyrénéenne, l'évolution pédologique s'affirme, en revanche, dans les basses plaines de l'avant-pays molassique : dès le sortir de la cluse de Boussens, sur la Garonne, et déjà dans les secteurs les plus limoneux de la Grausse de Pamiers, sur l'Ariège, les profils apparaissent clairement différenciés. Parallèlement, la couverture limoneuse, quoique d'épaisseur variable, s'individualise beaucoup plus nettement ici qu'à l'amont et drape régulièrement les alluvions caillouteuses. La plupart du temps, ces manteaux superficiels montrent des profils de sols bruns lessivés, tandis que, lorsque les conditions s'y prêtent, les graves présentent un discret profil d'altération caractéristique. Cependant, selon que les roches-mères sont calcaires ou non, deux types principaux peuvent être distingués parmi ces profils (J. HUBSCHMAN, 1972 b).

1 - Les sols bruns lessivés "acides".

Il se trouve que, le plus souvent, la couverture limoneuse, comme d'ailleurs les graves sur lesquelles elle repose, offre un caractère plus ou moins acide qui se retrouve dans le profil du sol, lequel se développe alors soit exclusivement dans les limons, lorsque ceux-ci sont suffisamment épais, soit, dans le cas contraire qui est le plus fréquent, à la fois dans le matériel fin et le sommet de la grave. Les traits majeurs concernent la différenciation du profil (et ses corrélats), le front d'altération dans les alluvions caillouteuses et l'évolution des minéraux argileux.

A. <u>Un profil textural clairement différencié.</u>

La différenciation du profil superficiel se lit fort clairement sur les coupes : horizon A_2 éclairci, de couleur brun jaunâtre, à structure légèrement massive, parfois discrètement lamellaire ou feuilletée, passant progressivement en profondeur à des horizons Bt puis IIBt dans les cailloutis, plus colorés (1) et à structure polyédrique nette : les enrobements d'argile y apparaissent macroscopiquement, revêtant les agrégats, tapissant la paroi des gros pores, patinant les galets ou graviers inclus dans les horizons Bt limoneux ou IIBt de la grave. La différenciation texturale est donc évidente (profils 13, 14, 15, 16 ; fig. 24) ; l'indice de distribution de l'argile se tient le plus souvent entre 1,3 et 1,6, celui du fer libre, moins régulier, entre 1,2 et 1,8. Toutefois, des profils se rencontrent, qui traduisent un lessivage encore plus poussé : ainsi, non loin du confluent de la Lèze avec l'Ariège, on observe de véritables boulbènes (2) développées dans le limon, à A_2 très clair et indice de distribution d'argile entre A et B supérieur à 2, beaucoup plus proches des sols lessivés que des sols bruns lessivés proprement dits.

Les pH sont variables, nettement acides par endroit (profil 14) et le complexe absorbant montre parfois une forte désaturation : pH et taux de saturation augmentent généralement dans les horizons Bt, mais ce phénomène est souvent masqué par la culture et les amendements

(1) Les A_2 sont généralement de couleur 10 YR ou 2,5 Y, avec valeur et chroma souvent supérieurs à 5/3 ou 5/4. Les Bt sont proches de 10 YR ou 7,5 YR, les IIBt avoisinent parfois 5 YR (Munsell Color Charts).

(2) Sols lessivés, sableux à limono-sableux en surface et à structure battante, de la région toulousaine.

Figure 24 - Profils texturaux et ferrugineux de sols bruns lessivés "modaux" des basses plaines de l'avant-pays molassique

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre.

Trait interrompu : limite supérieure des alluvions caillouteuses homogènes

Trait pointillé : limite inférieure de l'horizon supérieur remanié (croquis a)

- a. Profil 13 - b. Profil 14 - c. Profil 15 - d. Profil 16 - e. Canté (ballastière), Ariège.

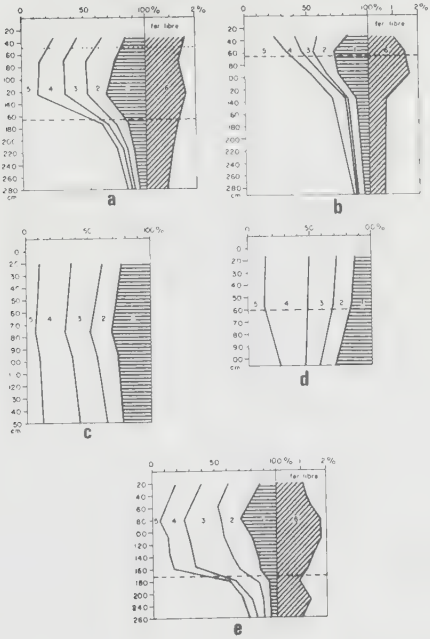


FIGURE 24

minéraux (1).

B. <u>Les horizons graveleux : un discret gradient d'altération avec la profondeur.</u>

Lorsque la couverture limoneuse n'est pas trop épaisse et n'excède pas 120 à 150 cm, selon les cas, un discret profil d'altération se manifeste dans la nappe graveleuse : les horizons IIBt qui, on l'a vu, prolongent au sommet des cailloutis les Bt limoneux, passent en effet progressivement en profondeur à des horizons IICB, lesquels font place peu à peu vers le bas à la grave alluviale fraîche, qui peut donc être assimilée à une roche-mère caillouteuse IIC (fig. 25). La limite entre IICB et IIC correspond pour l'essentiel au front d'altération qui a été évoqué dans les pages précédentes, et qui se tient le plus couramment entre 150 et 200 cm de profondeur. Cette limite, qui représente en fait une zone de passage très progressif entre IICB et IIC, est évidemment très ondulée et irrégulière : elle exploite en effet toutes les discontinuités de l'alluvion, lentilles sableuses, amas de graviers ou encore lits discontinus de matériel limoneux.

Au-dessus de ce front d'altération, et quoique discrètement exprimés, les caractères de l'horizon d'altération IICB n'en sont pas moins parfaitement observables sur nombre de bonnes coupes bien drainées :

- comme dans les horizons IIBt, les galets y sont généralement revêtus d'une légère patine brunâtre et les éléments cristallins fragilisés, gneiss et granites à biotite surtout, représentent environ 10 % de l'ensemble des cristallins (2) : biotites mordorées, fissures à exsudation

(1) Par ailleurs, les matrices des alluvions graveleuses sont généralement plus acides que les couvertures limoneuses.

(2) Comptage sur environ 800 galets cristallins de taille comprise entre 5 et 15 cm, dans 12 profils des basses plaines.

Figure 25 - Profil schématique des sols bruns lessivés "modaux" des basses plaines de l'avant-pays

- 1. Horizon lessivé - 2. Accumulation d'argile - 3. Accumulation de fer (pour argile et fer, l'espacement des traits est inversement proportionnel à l'importance de l'accumulation).

- S. Sommet de la nappe graveleuse - F. Front d'altération.

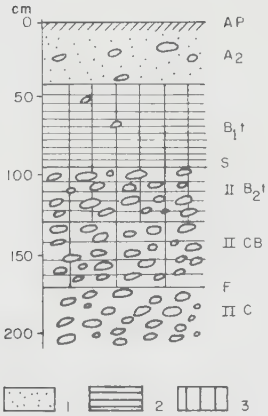


FIGURE 25

rouille ou brune d'oxydes de fer, feldspaths plagioclases apparaissant légèrement "brouillés" en lame mince, les caractérisent. En revanche, dans les horizons IIC sous-jacents, l'ensemble des cailloutis revêt un aspect beaucoup plus frais, de teinte générale plus claire qu'explique l'absence de patine, et les éléments cristallins fragiles sont nettement moins nombreux (environ 5 %) ;

- alors que la matrice sableuse des horizons IIC de la grave fraîche offre habituellement une couleur claire, celle des horizons IICB qui surmontent le front d'altération montrent au contraire une couleur plus vive, brunâtre jusqu'à brun rougeâtre (1) ou ocre : teneurs en fer libre et, souvent encore mieux, taux de libération du fer, un peu plus élevés dans le IICB que dans le cailloutis frais, traduisent plus ou moins clairement ce phénomène. Corrélativement, la matrice sableuse des horizons IICB présente très généralement une teneur en argile un peu plus forte (et décroissante avec la profondeur) que dans les alluvions sous-jacentes (profils 13, 14 ; fig. 24 a, b).

Cependant, ces profils d'altération des nappes graveleuses ne s'observent pas de façon continue dans les basses plaines de l'avant-pays :

- d'une part, l'épaisseur irrégulière de la couche limoneuse joue un rôle majeur : là où elle dépasse 150 cm, ni l'horizon IICB, ni le front d'altération qui le limite en profondeur n'apparaissent clairement dans les profils (fig. 24e) et, de fait, les coupes suffisamment longues montrent bien la progressive disparition des IICB et des fronts d'altération tandis que s'épaississent les formations fines de surface (fig. 26) : ne subsistent alors, dans ces dernières, qu'un horizon CB ou BC, peu différencié mais parfois légèrement enrichi en fer libre et qui,

(1) Et atteignant alors 5 YR.

Figure 26 - Relations entre l'épaisseur des limons et l'altération du sommet de la nappe graveleuse, dans les sols bruns lessivés des basses plaines de l'avant-pays.

- 1. Horizons Ap et horizons lessivés A2 dans les limons - 2. Horizons Bt d'accumulation dans les limons - 3. Horizons II Bt d'accumulation dans la nappe graveleuse - 4. Horizons BC à CB dans les limons - 5. Horizons II BC à II CB dans la nappe graveleuse - 6 Horizons C dans les limons - 7. Horizons II C dans la nappe graveleuse.

Trait horizontal interrompu : front d'altération.

L'horizon discrètement altéré II BC à II CB et le front d'altération dans les cailloutis, n'apparaissent véritablement que là où l'épaisseur de la couverture limoneuse est relativement réduite.

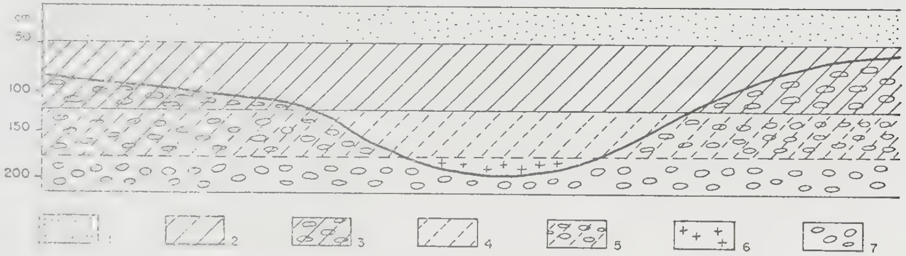


FIGURE 26

le cas échéant, passe insensiblement au limon parental reposant sur la grave ;

- d'autre part, la puissance des alluvions qui tapissent les basses plaines excède rarement 4 à 5 m : aussi, les battements de la nappe phréatique supra-molassique affectent-ils fréquemment une tranche plus ou moins épaisse de cailloutis. Du coup, les faciès classiques à pseudogley, revêtements noirs et rouille, concrétions ferrugineuses, esquisses de bandes grisâtres sub-horizontales exploitant la structure alluviale, couleur ocre de la matrice sableuse, viennent considérablement brouiller le profil d'altération ; en outre, cette hydromorphie a pour effet d'accentuer la décomposition des galets fragiles, au point que, même à 3 m de profondeur, la proportion de cristallins attaqués et fissurés est parfois supérieure à celle qui caractérise habituellement les IICB. Par endroit, ces phénomènes d'hydromorphie se marquent également à la base des limons, déterminant ainsi des horizons B_1tg légèrement bariolés et incluant à l'occasion des petites concrétions noires et rondes de fer.

C. <u>L'évolution des minéraux argileux.</u>

Les stocks de minéraux argileux comportent généralement illite, chlorite, vermiculite, divers interstratifiés et parfois de la montmorillonite et un peu de kaolinite, celle-ci très marginale et restant d'ailleurs difficile à diagnostiquer. A cet égard, il n'existe pas de différence majeure entre la matrice sableuse des graves d'une part, le matériel fin superficiel, d'autre part. Par contre, la distribution des minéraux est révélatrice d'une certaine évolution (tableau 4) : l'illite se renforce régulièrement dans les horizons de surface, comme du reste les interstratifiés non gonflants ; au contraire, la chlo-

rite tend à diminuer dans les horizons supérieurs, de même que la vermiculite, tandis que la montmorillonite, lorsqu'elle existe, s'affaiblit ou disparaît du bas vers le haut des prófils (1).

	I	C	V	M	K	Inter.	Inter. g.
oulouse (profil 14)							
A_2 30- 40 cm	F	f	f		f	m	
B_1t 55- 65 cm	F	M	m		f	f	
IIB_2t 90-100 cm	M	M	m			f	tr
IICB 130-140 cm	M	f	M			m	
IIC 270-290 cm	F	f	m			f	tr
Canté (Ariège)							
A_2 20- 30 cm	F	f	m			m	
B_1t 75- 85 cm	M	m	m			f	
BC 160-180 cm	M	m	M	f		f	f
IIC_1 180-190 cm	F	M	m			m	
IIC_2 220-240 cm	M	M	m			m	f

<u>bleau 4</u> - Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés s basses plaines de l'avant-pays. I : illite ; C : chlorite ; V : vercùlite ; M : montmorillonite ; K : kaolinite ; Inter. : instratifiés -14 et 14C - 14V ; inter.g. : interstratifiés gonflants. Abondance : fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

C'est là une évolution conforme au schéma classique, relatif aux sols bruns lessivés, tel qu'il ressort par exemple des travaux de T. CAMEZ (1962) et G. MILLOT (1964). Dans les graves, de part et d'autre du front d'altération, les différences sont faibles : simplement notet-on que la vermiculite est souvent plus abondante dans les horizons IICB (2) que dans le cailloutis frais sous-

(1) On note également que les raies du quartz à 3,33 Å et 4,2 Å sont plus fortes dans les horizons A_2.

(2) Et aussi dans les matrices des graves affectées par l'hydromorphie.

jacent. Toutefois, dans les profils les mieux différenciés qui, par place, ressortissent déjà aux sols lessivés, l'illite ne constitue plus le minéral dominant des horizons A_2 et B_1t : en effet, des espèces à comportement soit de vermiculite, soit d'interstratifiés 14 C-14 V, 10-14 C ou 10-14 V, se développent le plus souvent dans ces horizons. Dès le stade des basses terrasses et plus encore celui des moyennes terrasses de l'avant-pays, ces minéraux vont prendre, on le verra, une extension considérable dans les profils des couvertures limoneuses : tout porte à croire qu'ils s'apparentent pour l'essentiel aux vermiculites-Al ou aux chlorites secondaires ou chlorites-Al, remarquablement stables, décrites dans la littérature (notamment M.L. JACKSON, 1959 ; S.B. WEED et al., 1962 ; P. DUCHAUFOUR, 1968 ; J.Y. GAC, 1968 ; Y. TARDY, 1969) et qui caractérisent les milieux franchement lessivés.

En définitive, tous ces sols bruns lessivés, avec leurs diverses nuances, et les profils d'altération des graves qui les prolongent en profondeur, occupent la plus grande partie des basses plaines de l'avant-pays molassique (1). A cet égard, les vallées des petites rivières affluentes, comme l'Arize ou le Volp, ne diffèrent guère outre mesure de celles de la Garonne ou de l'Ariège. En revanche, dans la vallée de la Lèze mais surtout dans celle de l'Hers mort, la présence de calcaire dans la partie inférieure des profils rapproche ces derniers des sols bruns lessivés à horizons calcaires profonds, lesquels s'étendent essentiellement entre Toulouse et le confluent du Tarn.

(1) Ni dans la différenciation du profil superficiel, ni dans le profil d'altération des graves, nous n'avons pu constater une évolution plus poussée, au fur et à mesure que l'on s'éloigne des cours d'eau (A. CAVAILLE, 1965). Au contraire, c'est parfois à proximité même des lits majeurs ou des petits paliers à sols alluviaux brunifiés que s'observent les profils les plus différenciés et les IICB les mieux exprimés (à Carbonne, par exemple).

2 - <u>Les sols bruns lessivés à horizons calcaires en profondeur.</u>

De fait, le trait majeur qui distingue ces dernières formations des sols bruns lessivés à caractère acide, réside dans la présence très générale du calcaire, sous divers faciès, dans la profondeur des couvertures limoneuses. Celles-ci, il faut le noter, offrent une épaisseur souvent beaucoup plus régulière et plus considérable (presque toujours supérieure à 130 cm) que dans le cas précédent : il en résulte que, dans la plupart des cas, l'ensemble du profil superficiel se développe habituellement dans le matériel fin, tandis que le sommet des graves, qui est par ailleurs encroûté de calcaire, ne revèle qu'exceptionnellement les faciès d'altération décrits un peu plus haut. Ajoutons que, pour l'essentiel, l'extension de ces dépôts calcaires en profondeur coïncide assez largement avec celle des limons éolisés que nous avons évoqués dans un chapitre antérieur. Outre la présence de calcaire, un certain nombre de caractères distinguent ces profils des sols bruns lessivés "acides".

A. <u>La différenciation des profils dans les couvertures limoneuses.</u>

La différenciation proprement dite des profils apparaît moins nettement sur les coupes : les horizons A_2 sont moins éclaircis et leur coloration est plus proche de 10 YR que de 2,5 Y ; on n'observe jamais de A_2 très clair à structure déjà feuilletée, comme cela se produisait dans le cas précédent. Pourtant, les indices de distribution de l'argile et du fer libre qui varient respectivement entre 1,4 et 1,8 et 1,4 et 1,6 (1), traduisent sans aucun doute une différenciation texturale et un lessivage du fer du

(1) L'accumulation de fer libre se poursuit parfois plus en profondeur, dans les horizons BC.

même ordre que ceux des sols bruns lessivés sur limons non calcaires (fig. 27).

Dans les horizons Bt à structure polyédrique, parsemés de très nombreux pores et traversés de longues et minces fissures verticales, se montrent fréquemment des traînées également verticales, plus ou moins larges, de couleur brun-marron un peu plus foncée que le reste de l'horizon et qui vont en se résorbant peu à peu avec la profondeur, jusqu'à disparaître dans les horizons BC (fig. 28). C'est surtout dans ces traînées plus sombres que s'observent des enrobements argileux autour des agrégats ou à la surface des graviers, comme le confirment du reste quelques lames minces (cutanes anisotropes d'argiles ferriques foncées (1), plus ou moins intégrés au fond matriciel). Les pH sont presque toujours supérieurs à 6 et le taux de saturation du complexe absorbant, qui descend rarement au-dessous de 70 %, remonte rapidement dans les horizons Bt et BC.

B. <u>La ségrégation du calcaire en profondeur.</u>

Le profil calcaire est certes différencié, mais l'accumulation du carbonate ne concerne que les horizons placés sous le profil textural proprement dit. Deux cas, parmi les plus courants, peuvent se présenter :

- l'horizon Cca est relativement homogène et prolonge alors l'horizon BC qui le surmonte, sans rupture autre que celle relative à l'apparition du calcaire (profil 18) : celui-ci se présente sous forme à la fois diffuse, de teneur très variable (2), et individualisée : pseudomycélium,

(1) Peut-être ces cutanes sont-ils enrichis en humus, ce qui expliquerait leur teinte relativement sombre.

(2) L'existence d'un "ventre" dans les courbes des taux de calcaire diffus, au sommet de l'horizon Cca, n'est pas générale, contrairement à ce qui s'observe dans les sols sur loess et sur molasse.

Figure 27 - Profils texturaux, ferrugineux et calcaires de sols bruns lessivés à horizons calcaires profonds des basses plaines de l'avant-pays

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre - 7. Calcaire.

- a. Profil 17 - b. Profil 18.

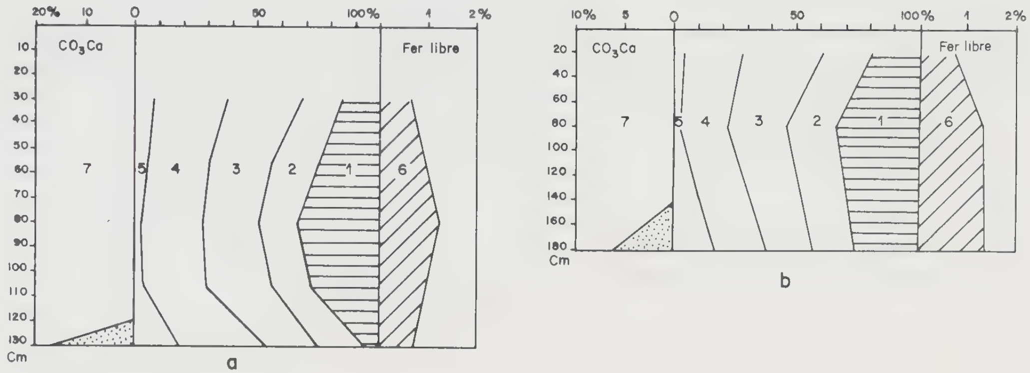


FIGURE 27

granules, tubulures rhizomorphes, poupées calcaires, assez comparables à ceux observés dans les loess. Au-dessous repose la nappe caillouteuse, dont le sommet montre une matrice sableuse calcaire et des galets encroûtés sur leur face inférieure, sinon parfois soudés entre eux, ébauchant ainsi une sorte de poudingue à ciment carbonaté ;

- l'accumulation calcaire se distribue dans un certain nombre d'horizons Cca à faciès différents (profil 17, fig. 28) : limon sableux à pseudomycélium et concrétions, minces lits de calcaire pulvérulent, lentilles sableuses pauvres en carbonate diffus, reposent alors sur les galets encroûtés.

La disposition ou l'organisation de ces faciès de ségrégation du calcaire sont assez variables mais ne restent pas indifférentes à la structure sédimentaire du dépôt : ainsi les lits de calcaire poudreux sont-ils subhorizontaux et exploitent-ils manifestement des discontinuités granulométriques. Par ailleurs, l'aspect des éléments concrétionnés est remarquable : tous ou presque montrent une surface farineuse, les tubulures et les petites concrétions s'écrasent sous le doigt et seules les zones centrales des granules et des poupées les plus volumineux gardent encore un caractère de cristallinité et de dureté analogue à celui des formations observées dans les loess : ainsi a-t-on très nettement le sentiment que la plupart de ces formes de cristallisation secondaire de calcite sont actuellement en voie de délabrement (1).

Par endroit, ces horizons Cca sont le siège de discrets phénomènes d'hydromorphie : de légères bigarrures apparaissent là où la texture est la plus fine, ce qui est

(1) En quelques endroits, on a pu observer dans les horizons Bt des amas calcaires pulvérulents avec ou sans noyau dur central, que l'on peut interpréter comme d'anciennes concrétions réduites aujourd'hui à l'état de fantômes.

Figure 28 - Profil schématique des sols bruns lessivés à horizons calcaires profonds des basses plaines de l'avant-pays

- 1. Horizon lessivé - 2. Accumulation d'argile - 3. Accumulation de fer (pour argile et fer, l'espacement des traits est inversement proportionnel à l'importance de l'accumulation) - 4. Traînées sombres subverticales - 5. Pseudomycélium, tubulures, nodules et poupées calcaires - 6. Lits de calcaire poudreux - 7. Lits sableux - 8. Galets encroûtés de calcaire - 9. Eléments de poudingue à ciment calcaire.

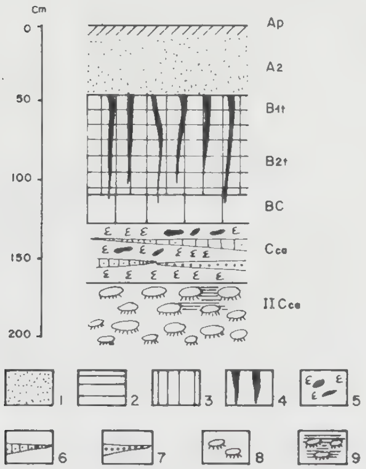


FIGURE 28

souvent le cas dans les horizons limoneux tassés à pseudo-mycélium ; localement, lorsque la nappe phréatique est relativement proche, revêtements noirs de fer sur les galets encroûtés de calcaire et plages rouille de la matrice sableuse, se montrent dans la grave sous-jacente.

C. L'effacement des montmorillonites dans les horizons supérieurs.

Dans les horizons Cca, les cortèges de minéraux argileux sont marqués par la présence très régulière de quantités importantes de montmorillonite : le fait est qu'elle diminue rapidement dans les horizons supérieurs du sol ; chlorite et vermiculite décroissent également, tandis que l'illite se renforce en surface (tableau 5). C'est là un schéma fort banal, que l'on retrouvera à maintes reprises dans les sols sur loess et dans certains profils du Terrefort molassique.

	I	C	V	M	K	Inter.	Inter. g.
Lespinasse (profil 17)							
A_2 30- 40 cm	F	f	f		f	m	m
B_1t 50- 60 cm	F	m	m		f	m	tr
B_2t 75- 85 cm	M	m	f	f	f	f	f
BC 100-110 cm	M	M	m	m		f	m
C_1ca 120-130 cm	M	M	m	M		m	f
Beauzelle (profil 18)							
A_2 25- 35 cm	F	f	f	f	m	m	tr
B_2t 75- 85 cm	M	m	m	m	m	f	tr
Cca 160-180 cm	M	m	f	F	f	f	tr

Tableau 5 : Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés à horizons calcaires de profondeur des basses plaines de l'avant-pays. I : illite ; C : chlorite ; V : vermiculite ; M : montmorillonite ; K : kaolinite ; Inter.: interstratifiés 10-14 et 14 C-14 V ; inter.g : interstratifiés gonflants - Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

Ces sols bruns lessivés à horizons calcaires profonds s'étendent essentiellement, on l'a vu, dans la basse plaine garonnaise à l'aval de Toulouse : ils occupent ainsi une grande partie du palier supérieur qui, de Toulouse à Saint-Jory, se poursuit au-delà du Touch par le palier inférieur du plateau de Lavilledieu-Montech. Mais ils tapissent également de larges secteurs de la basse plaine sensu stricto, venant même jusqu'en bordure immédiate du lit majeur à sols peu évolués : ainsi à l'ouest de Monbéqui et Finhan, ou, mieux encore, au droit de Lespinasse (1). En rive gauche, le fleuve ou son lit majeur longe le plus souvent la basse terrasse ; cependant, les petits paliers inférieurs de celle-ci, portant Blagnac et Beauzelle, sont eux aussi recouverts de formations analogues ; mais, comme cela sera exposé plus loin, le profil d'altération des graves ressortit à un stade d'évolution plus avancé que celui des basses plaines.

A l'amont de Toulouse, les sols bruns lessivés à horizons calcaires en profondeur semblent beaucoup plus rares et ne s'observent que par endroit, entre Muret et Toulouse ou à proximité du confluent garonnais, dans la vallée de l'Ariège. En fait, même à l'aval de Toulouse, où ils s'étendent apparemment en vastes zones homogènes, tous ces sols passent latéralement à des sols bruns lessivés à caractère acide, sans que rien, en surface, ne trahisse véritablement cette modification des profils.

(1) A l'aval de Toulouse et sur la rive droite de la Garonne, on observe de temps à autre des recouvrements limoneux récents de 10 à 30-40 cm d'épaisseur, souvent calcaires et chargés de galets ou graviers, reposant sur un profil classique de sol brun lessivé à horizon calcaire profond ou sur limon non calcaire : c'est là l'indice d'apports de crue actuels ou sub-actuels ; de tels remaniements se voient aussi, du reste, à Toulouse même, sur la rive gauche, dans la boucle de St-Cyprien (rue Saint-Hippolyte).

CHAPITRE VI

LE DEVELOPPEMENT DES PROFILS DANS LES FORMATIONS LOESSIQUES ET LE TERREFORT MOLASSIQUE

LE DEVELOPPEMENT DES PROFILS DANS LES FORMATIONS LOESSIQUES ET LE TERREFORT MOLASSIQUE.

Le Terrefort tire son nom du sol lourd et argileux, généralement calcaire, qui tapisse les coteaux taillés dans la molasse : grande variabilité des pentes, diversité des sites géomorphologiques, changements de faciès de la molasse elle-même, expliquent sans aucun doute que les sols s'y distribuent suivant une complexe et mouvante mosaïque qui s'ordonne le plus souvent en toposéquences le long des versants. Au contraire, les profils développés çà et là sur les placages loessiques ressortissent presque toujours à un même type de différenciation pédologique.

1. <u>Les sols des placages à faciès loessiques.</u>

A vrai dire, l'extension limitée et la situation des formations loessiques, telles qu'on a pu les évoquer dans un chapitre antérieur, ne sont guère favorables à la genèse ou à la conservation des profils développés dans ces matériaux. Les dépôts sont en effet le plus souvent plaqués contre des versants ou des talus de terrasses plus ou moins raides : aussi l'érosion n'a-t-elle pas manqué d'en décaper vigoureusement les couches supérieures, tandis que, dans bien des cas, un manteau de colluvions est venu recouvrir les affleurements ; aussi bien, le loess qui, on s'en souvient, tapisse certains fonds de vallons du Terrefort lauragais ne présente-t-il guère d'altération superficielle et les matériaux glissés de pied de versant masquent très généralement un limon éolien remanié mais sans horizons différenciés. C'est dire que, dans ces conditions, seules certaines situations morphologiques particulièrement favorables autorisaient le développement et la conservation de profils pédologiques établis dans les dépôts loessiques : ainsi ne peut-on véritablement les observer que par endroit, là où la pente du versant molassique est re-

lativement modérée, comme à Toulouse-Bellevue, sur la rive gauche de l'Hers mort, ou au-dessus de Salles-sur-Garonne ; ou bien encore lorsque les placages éoliens étalés au pied des talus de terrasse ne montrent pas de recouvrement colluvial notable, en surface, comme au Château de Reynerie. Dans ce cas, l'altération des formations loessiques se traduit alors par l'apparition d'un lehm superficiel, dans lequel la différenciation du profil se manifeste fort clairement (J.HUBSCHMAN, 1971b, 1972 a).

- Le profil textural est net et d'allure comparable à celui des sols bruns lessivés des basses plaines (profils 19 et 20 ; fig. 29) : l'indice de distribution de l'argile entre A et B se tient entre 1,2 et 1,5 ; la structure des horizons Bt est franchement polyédrique et, là aussi, des traînées verticales plus sombres, correspondant aux zones les plus riches en revêtements argileux, s'estompent puis disparaissent peu à peu vers le bas, dans les horizons BC qui surmontent le loess proprement dit.

Des traces de calcaire diffus subsistent parfois dans les profils : dans ce cas, les pH sont basiques et le complexe absorbant saturé même dans les horizons lessivés : ceci pourrait sembler contradictoire avec le développement d'un profil textural différencié si l'on ne savait aujourd'hui que le lessivage de l'argile et du fer est possible même dans une ambiance ionique calcique (P. DUCHAUFOUR, 1968).

- Sous le profil textural proprement dit se décèle couramment un horizon d'accumulation de calcaire diffus, lié pour l'essentiel à la décalcarisation du lehm et reposant au sommet du matériel éolien non différencié. Dans les loess épais qui jalonnent le versant gauche de la vallée de l'Hers mort, poupées calcaires, concrétions dures et tubulures rhizomorphes sont généralement bien conservées,

Figure 29 - Profils texturaux et calcaires de sols bruns lessivés sur formations loessiques

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Calcaire

- a. Profil 20 - b. Profil 19.

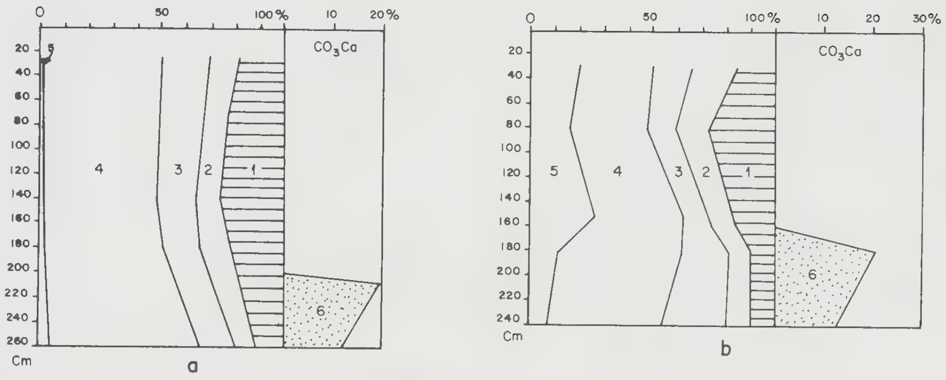


FIGURE 29

tout au moins à plus de 3-4 m de profondeur. En revanche, dans les formations hydro-éoliennes, moins puissantes, qui bordent les talus de terrasse, l'allure des éléments de calcaire concrétionné est identique à celle qui s'observe dans les sols bruns lessivés sur limons calcaires des basses plaines : même fragilité, même aspect farineux et pulvérulent de la surface des concrétions.

- L'évolution des minéraux argileux rappelle également les limons calcaires des basses plaines et montre surtout, dans les horizons supérieurs, la diminution de la montmorillonite, laquelle est fort bien représentée dans les loess comme elle l'est du reste assez souvent dans la molasse (tableau 6).

	I	C	V	M	K	Inter.	Inter. g.
Toulouse (profil 20)							
A_2 30- 40 cm	M			f	f	M	f
B_1t 70- 80 cm	M			m	f	M	f
B_2t 140-150 cm	M	tr	f	m	f	m	f
BC 180-200 cm	m	f	m	M	f	f	m
C_2ca 250-260 cm	m	f	f	F	f		m
Toulouse-Reynerie (profil 19)							
A_2 30- 40 cm	F	m		f	f	m	
B_1t 70- 90 cm	M	m		m		f	tr
Cca 170-190 cm	m	f	f	F	f	m	f

Tableau 6 : Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés sur matériaux loessiques. I : illite ; C : chlorite ; V : vermiculite ; M : montmorillonite ; K : kaolinite ; Inter.: interstratifiés 10-14 et 14 C-14 V ; inter.g.: interstratifiés gonflants - Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

2. La mosaïque de sols du Terrefort molassique.

A - Les sols à profil différencié des éléments de plateau.

Des "formations résiduelles de plateau", connues parfois sous le nom de "boulbènes des plateaux" (A. CAVAILLE, 1958, 1969b; H. ENJALBERT, 1960 ; J. HUBSCHMAN, 1972 a), tapissent régulièrement les replats dominants du Terrefort lauragais. En fait, ces formations ressortissent, une fois encore, à des profils de sols bruns lessivés, épais de 100 à 150 cm en moyenne, qui recouvrent indifféremment replats inférieurs et replats supérieurs, tels que ces derniers ont été définis dans la première partie de ce travail. La morphologie d'ensemble, la distribution de l'argile et du fer, la structure des horizons et la présence de revêtements argileux dans les horizons Bt, témoignent sans aucun doute de la différenciation des profils (profils 21 et 22 ; fig. 30 a, b). Mais la molasse, on le sait, est une roche hétérogène dans le détail et, si l'on exclut les bancs de calcaire gréseux qui, dans le Lauragais occidental, n'affleurent que rarement de loin en loin, on peut distinguer deux faciès principaux :

- le premier, le moins fréquent, se présente sous forme de lentilles ou de poches à tendance sableuse, non ou très peu calcaire, d'épaisseur et d'étendue très variables : des points ou plages rouille et grisâtres s'y observent dans la masse brun jaunâtre de la molasse. Dans ce cas, les horizons inférieurs du sol passent insensiblement, en profondeur, à la molasse indifférenciée (fig. 31 b) : les pH, peu acides en surface, augmentent peu à peu vers le bas, de même que la saturation du complexe absorbant ;

- le second faciès est le plus courant : argilo-calcaire et d'allure plus franchement bigarrée, avec ses pla-

Figure 30 - Profils texturaux, ferrugineux et calcaires de sols du Terrefort molassique

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre - 7. Calcaire.

Trait interrompu : limite supérieure du placage loessique fossilisé (croquis c) ou de la molasse ravinée (croquis d).

a. Sol brun lessivé à horizon d'accumulation calcaire, sur molasse argilo-calcaire (profil 21) - b. Sol brun lessivé sur molasse à faciès sableux non calcaire (profil 22) - c. Sol brun calcique à faible différenciation texturale, sur colluvion argileuse homogène fossilisant un placage loessique (profil23) - d. Sol brun calcaire sur colluvion hétérogène riche en éléments calcaires grossiers et ravinant la molasse (profil 24).

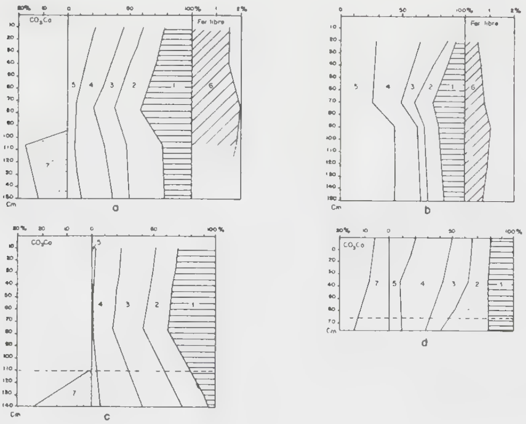


FIGURE 30

Figure 31 - Profils schématiques des sols bruns lessivés, sur les éléments de plateau du Terrefort molassique

- 1. Horizons lessivés - 2. Accumulation d'argile - 3. Accumulation de fer (pour argile et fer, l'espacement des traits est inversement proportionnel à l'importance de l'accumulation - 4. Accumulation de calcaire diffus ou poudreux au sommet de la molasse - 5. Eléments concrétionnés du sommet de la molasse : tubulures, nodules et poupées calcaires généralement altérés et friables en surface - 6. Lits de calcaire pulvérulent emplissant des fissures superficielles de la molasse - 7. "Têtes-de-chat" de la molasse - 8. Molasse à faciès argilo-calcaire - 9. Molasse à faciès sableux, non calcaire.

- a. Sol brun lessivé à horizon d'accumulation calcaire, sur molasse argilo-calcaire - b. Sol brun lessivé sur molasse à faciès sableux, non calcaire.

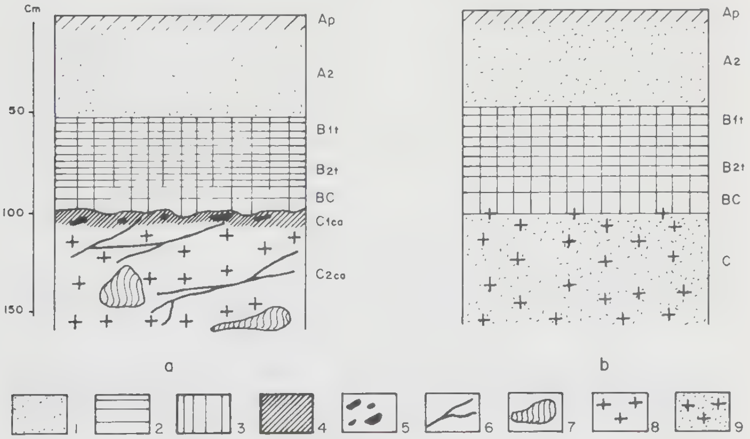


FIGURE 31

ges orangées et gris bleuté fréquemment disposées en lits sub-horizontaux. Le calcaire s'y individualise parfois en éléments gréseux faiblement consolidés ("têtes-de-chat" de G. ASTRE, 1959) et aussi plus souvent sous forme de minces lits pulvérulents grossièrement parallèles à la surface du sol, lesquelles ne sont généralement visibles que jusqu'à 150-200 cm de profondeur (1). Les profils pédologiques différenciés dans ce matériau montrent alors régulièrement un horizon d'accumulation calcaire au sommet de la molasse, lequel constitue ainsi une franche limite, quoiqu'ondulée, entre le profil textural proprement dit et la roche-mère molassique (fig. 31 a) : non seulement, la teneur en carbonate diffus y est plus élevée que dans la molasse elle-même, mais des formes de concrétionnement s'y observent : poupées et granules le plus souvent farineux mais, pour les plus gros d'entre eux, encore durs et cristallisés dans la partie centrale ; éléments de croûte feuilletée très délabrée... Toutes ces formes de concrétionnement caractérisent spécifiquement l'horizon d'accumulation placé au sommet de la molasse. Au-dessus, le sol comporte fréquemment des traces de calcaire : les pH sont alors basiques et le complexe absorbant saturé, même dans les horizons A_2 : on retrouve ici cette propriété particulière aux sols bruns lessivés "calciques" (2).

(1) Parfois beaucoup plus, jusqu'à 4 ou 5 m, et montrant alors parfois une disposition verticale.

(2) Au nord-est de Toulouse et plus encore dans le Terrefort du Tescou, on trouve cependant parfois des sols de plateau plus acides, au pH de l'ordre de 6 en surface, comportant localement des concrétions ferrugineuses dans les horizons Bt : ces caractères semblent liés aux conditions légèrement hydromorphes qui prévalent, par endroit, sur certains replats particulièrement étendus.

Dans les profils développés sur les éléments de plateau, l'évolution des minéraux argileux ne diffère pas outre mesure de celle des sols sur formations loessiques et elle se traduit par un modèle identique : forte diminution de la montmorillonite surtout et renforcement corrélatif de l'illite et des interstratifiés dans les horizons supérieurs (tableau 7).

	I	C	V	M	K	Inter.	Inter. g.
eille-Toulouse rofil 21)							
Ap 10- 20 cm	M	tr	f	m	f	M	f
B_1t 70- 80 cm	m	f	m	M	m	m	
C_1ca 100-110 cm	f	f	f	F	m	m	tr
C_2ca 140-150 cm	m	m	m	F	m	tr	f
ns (profil 22)							
Ap 0- 20 cm	F	tr		f	f	m	m
A_2 20- 45 cm	M	f	f	m	m	m	f
B_1t 60- 80 cm	M	f	m	M	m	f	tr
B_2t 85- 95 cm	M	tr		F	f	f	
C 140-150 cm	M	f		F	f	tr	f

leau 7 - Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés aplanissements du Terrefort. I : illite ; C : chlorite ; V : vermi-ite : M : [illegible]rorillonite ; K : kaolinite ; Inter. : interstratifiés 14 et 14 C-14 V ; inter.g. : interstratifiés gonflants - Abondance : fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

B. Les sols à profil non ou peu différencié des versants longs

Au sommet des croupes arrondies et sur les versants raides du Terrefort, la molasse n'est jamais très loin de la surface du sol : celui-ci s'apparente alors

généralement à une rendzine plus ou moins grossière et peu humifère, parfois à un sol brun calcaire à horizon (B) structural légèrement exprimé. En revanche, les versants longs à pente modérée sont régulièrement tapissés de dépôts colluviaux qui recouvrent et, par endroit, ravinent la molasse. Les profils développés dans ces "argiles de coulière" ne montrent guère de différenciation macroscopique notable et ressortissent le plus souvent soit à des sols bruns calciques, soit à des sols bruns calcaires.

- Les premiers, les plus fréquents, caractérisent les dépôts relativement homogènes et argileux, épais en moyenne de 80 à 150 cm, qui revêtent généralement la partie inférieure des versants. L'horizon Ap cultivé mis à part, aucune différenciation nette n'apparaît dans le profil, saturé en calcium et comportant presque toujours des traces de calcaire ; toutefois, au pied des versants, là où la pente est inférieure à 10 % environ, l'horizon (B) est parfois légèrement enrichi en argile et dénote ainsi l'existence d'une discrète accumulation de particules fines. La limite entre la molasse et le matériel faiblement différencié qui repose sur elle est toujours très franche ; très localement, c'est un placage loessique, tapi au creux d'un vallon qui se trouve ainsi recouvert par le sol brun calcique (profil 23 ; fig. 30 c).

- Moins épais, les sols bruns calcaires occupent surtout la partie haute des versants. Nettement calcaires et non différenciés (profil 24 ; fig. 30 d), ils comportent fréquemment des fragments de molasse légèrement consolidée et aussi des éléments calcaires concrétionnés, granules et poupées délabrés dispersés dans la masse et évoquant ceux des horizons d'accumulation calcaire des sols bruns lessivés qui tapissent les replats dominants.

La faible différenciation des sols développés sur les versants longs est corroborée par la distribution

des minéraux argileux dans les profils (tableau 8) : ici, en effet, et contrairement aux sols bruns lessivés, aucune évolution sensible liée à la pédogenèse, ne se révèle d'un horizon à l'autre. Dans les sols bruns calciques, l'association de minéraux argileux rappelle plus ou moins clairement la composition moyenne des sols de plateau ; dans les sols bruns calcaires, la teneur en montmorillonite est parfois plus forte, même en surface, que dans la molasse sous-jacente. Tous ces caractères morphologiques et analytiques semblent indiquer que les dépôts étalés sur les versants longs du Terrefort proviennent, pour une assez large part, d'un remaniement des sols et de la molasse constituant les replats dominants.

	I	C	V	M	K	Inter.	Inter. g.
Pechbusque (profil 23)							
Ap 10- 20 cm	m	m	f	M	f	m	m
(B) 70- 80 cm	m	tr	f	m	f	m	f
IICca 130-140 cm	m	f	m	F	f		m
Corronsac (profil 24)							
Ap 0- 15 cm	f	m	f	F		m	m
(B) 30- 40 cm	M	f	M	m	f	m	m
IICca 65- 75 cm	m	m	m	M		m	f

ableau 8 : Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns calciues et bruns calcaires des versants longs du Terrefort. I : illite ; : chlorite ; V : vermiculite ; M : montmorillonite ; K : kaolinite ; nter.: interstratifiés 10-14 et 14 C-14 V ; inter.g. : interstratifiés onflants - Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; , faible ; tr, traces.

C. Les toposéquences du Terrefort lauragais.

De fait, replats, versants longs, vallons et versants raides se succèdent généralement sur une même coupe de terrain et composent ainsi un modèle morphologique in-

lassablement répété dans l'ensemble du Terrefort lauragais ; sols et dépôts associés s'y distribuent en toposéquences régulières (fig. 32). Les sols bruns lessivés des replats supérieurs passent ainsi à ceux des aplanissements inférieurs par le biais d'une étroite bande de dépôts à sols bruns calciques ou bruns calcaires reposant sur la molasse. Plus bas, sols bruns calcaires surtout, puis sols bruns calciques drapent les versants longs, au pied desquels apparaissent parfois de discrets indices de différenciation texturale, tandis que les faciès d'hydromorphie (bigarrures du pseudogley ou petites concrétions ferrugineuses) s'esquissent puis se renforcent au creux des vallons. Au-delà, les versants raides à rendzines et sols bruns calcaires sont dominés à nouveau par les éléments de plateau à sols bruns lessivés. Il reste cependant que tous les éléments qui constituent ces toposéquences ne revêtent assurément pas la même signification et ne témoignent pas de la même ancienneté, comme on le montrera dans la troisième partie de ce travail.

Figure 32 - Toposéquences schématiques de sols en Terrefort molassique

- 1. Molasse à faciès argilo-calcaire - 2. Molasse à faciès sableux non calcaire - 3. Sols bruns lessivés des éléments de plateau - 4. Horizons d'accumulation et de ségrégation du calcaire au sommet de la molasse - 5. Sols bruns calcaires - 6. Sols bruns calciques - 7. Rendzines et sols bruns calcaires des versants raides - 8. Faciès à pseudogley des fonds de vallons.

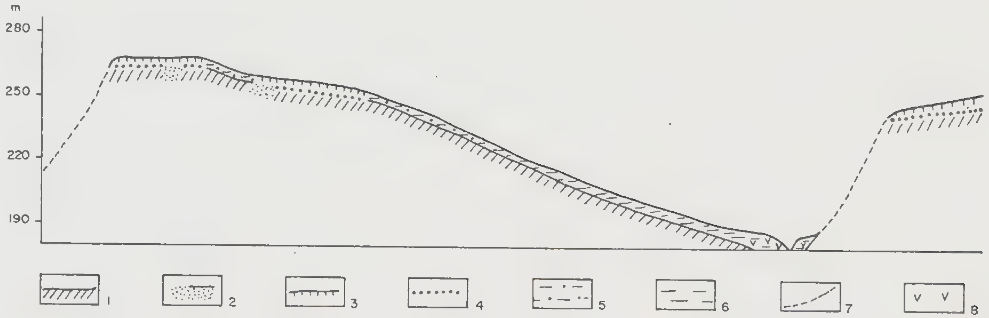


FIGURE 32

DES EVOLUTIONS CLAIREMENT EXPRIMEES :

LESSIVAGE ET ARGILISATION

DES EVOLUTIONS CLAIREMENT EXPRIMEES : LESSIVAGE ET ARENISATION.

Dans les basses plaines de l'avant-pays molassique, si la différenciation des couvertures limoneuses est le plus souvent relativement aisée à mettre en évidence, le profil d'altération des graves, en revanche, outre qu'il n'apparaît pas dans les coupes à fort revêtement de matériel fin, demeure généralement discret, et seul une observation attentive permet d'en déceler les principaux traits. Par contre, les alluvions caillouteuses qui forment les basses terrasses de l'avant-pays ne présentent guère cette difficulté et montrent dans tous les cas une franche altération des éléments graveleux fragiles, parmi lesquels les cristallins jouent le premier rôle. Il en va de même pour la basse Boulbonne, entre Ariège et Hers vif, et pour le plateau de confluence de Lavilledieu-Montech, entre Tarn et Garonne.

Sur la bordure pyrénéenne, cependant, les profils d'altération développés dans les nappes caillouteuses de certains niveaux de terrasse des basses vallées montagnardes, bien qu'apparentés aux précédents, témoignent incontestablement d'une évolution plus poussée : leur degré d'arénisation et de rubéfaction les distinguent ainsi clairement des alluvions des basses terrasses de l'avant-pays, encore modérément arénisées et rubéfiées.

1 - <u>Sols lessivés et sols hydromorphes à horizons caillouteux profonds modérément arénisés</u> : les basses terrasses de l'avant-pays molassique.

Alors que dans les basses plaines de l'avant-pays, la pédogénèse des manteaux limoneux conduit la plupart du temps à des sols bruns lessivés, les basses terrasses portent généralement des profils plus nettement

différenciés et déjà beaucoup plus fréquemment soumis aux phénomènes d'hydromorphie secondaire : ils ressortissent pour l'essentiel à des sols lessivés, sols lessivés hydromorphes ou sols hydromorphes.

A. Des sols lessivés.

Le contraste de couleur et de structure entre les horizons lessivés et les horizons d'accumulation, l'abondance et la netteté des enrobements argileux autour des agrégats ou à la surface des graviers ou galets des horizons Bt et IIBt, soulignent l'importance de la différenciation des profils. En fait, l'indice de distribution de l'argile, qui évolue entre 1,6 et 2,5, celui du fer entre 1,5 et 2,6, indiquent sans doute que certains profils sont encore proches du stade brun lessivé, alors que les autres, beaucoup plus fréquents, relèvent plus précisément des sols lessivés (profils 25 à 29 ; fig. 33).

Le pH et les propriétés du complexe absorbant, souvent modifiés, il est vrai, par la mise en culture, ne diffèrent pas toujours très sensiblement de ceux qui caractérisent les sols des basses plaines. Toutefois, acidité et désaturation des horizons limoneux sont dans l'ensemble plus marquées, surtout là où les profils sont franchement hydromorphes et fortement lessivés en surface, et ce d'autant plus qu'on les compare aux sols bruns lessivés sur limon calcaire des basses plaines : ici, en effet, les sols ne présentent jamais la moindre trace de calcaire (1). Par ailleurs, dans les sols lessivés et surtout dans les profils hydromorphes, une tendance se décèle, qui s'affirmera sur les terrasses plus élevées : le taux de magnésium (et, très secondairement et moins régulièrement, celui du sodium) remonte plus ou moins nettement

(1) Exception faite, bien entendu, des sols qui ont reçu un amendement calcaire, circonstance encore plus fréquente sur les terrasses plus élevées.

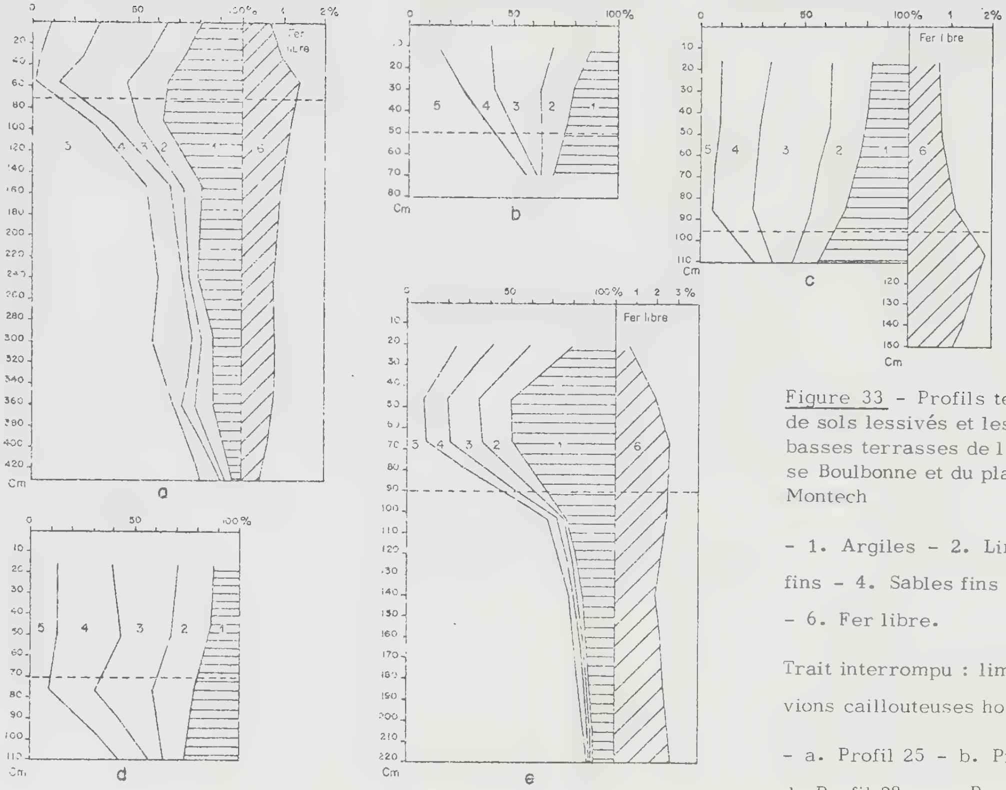


FIGURE 33

<u>Figure 33</u> - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés et lessivés hydromorphes des basses terrasses de l'avant-pays, de la basse Boulbonne et du plateau de Lavilledieu - Montech

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre.

Trait interrompu : limite supérieure des alluvions caillouteuses homogènes.

- a. Profil 25 - b. Profil 26 - c. Profil 27 - d. Profil 28 - e. Profil 29.

dans le complexe absorbant des horizons Bt ou IIBt (profil 29) : c'est là l'indice d'une saturation temporaire par l'eau de ces horizons, plus forte et plus durable que dans les sols bruns lessivés des basses plaines.

B. Les nappes graveleuses : des profils d'altération épais.

Sous les horizons IIBt qui, habituellement, prolongent les horizons Bt limoneux dans la partie sommitale de l'alluvion caillouteuse, se développe un épais profil d'altération des graves, noté IIBC ou IICB selon le degré de transformation par rapport aux cailloutis profonds peu décomposés de l'horizon IIC (fig. 34). Le front d'altération atteint le plus souvent 4 à 5 m de profondeur et n'est donc visible que dans les coupes qui descendent au-dessous de ce niveau (profil 25) et à condition que l'épaisseur du remblaiement soit suffisante, faute de quoi le front d'altération se trouve décalé dans le socle molassique. Sous ce front d'altération, l'horizon IIC montre un matériel relativement frais (1), peu patiné et à matrice sableuse grossière de teinte claire, du moins lorsque les phénomènes d'hydromorphie liés aux battements de la nappe phréatique supra-molassique, n'interviennent pas pour troubler les faciès. Les cristallins fragiles, fissurés ou en voie d'arénisation, y sont peu nombreux et représentent 5 à 10 % de l'ensemble des galets de cette nature. Au-dessus du front d'altération, en revanche, la matrice des cailloutis offre une couleur brun-ocre, parfois légèrement rougeâtre, discrètement enrichie en argile et en fer libre par rapport à la roche-mère (2), et

(1) Les entrepreneurs utilisent parfois, lors du creusement des fondations d'immeubles, le matériel de l'horizon IIC, qualifié de "cailloutis blanc", qui, étant plus solide, convient mieux aux travaux de maçonnerie que celui des horizons IIBC et IICB.

(2) Les taux de libération du fer sont également plus élevés dans les horizons IIBC et IICB, sauf lorsque le profil d'altération est hydromorphe, auquel cas les teneurs deviennent très fantaisistes.

<u>Figure 34</u> - Profil schématique des sols lessivés des basses terrasses de l'avant-pays molassique et des niveaux homologues

- 1. Horizon lessivé - 2. Accumulation d'argile - 3. Accumulation de fer (pour argile et fer, l'espacement des traits est inversement proportionnel à l'importance de l'accumulation) - 4. Galets de roche cristalline en voie d'arénisation plus ou moins marquée - 5. Galets patinés - F. Front d'altération.

On note la profondeur du front d'altération, de l'ordre de 4 à 5 m, et un certain gradient d'altération des galets cristallins avec la profondeur.

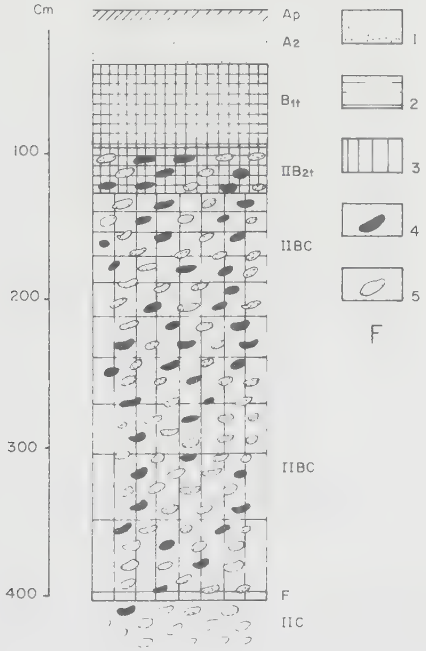


FIGURE 34

dont les teneurs décroissent peu à peu avec la profondeur (fig. 33 a,c). L'ensemble des cailloutis est revêtu d'une patine brunâtre à ocre et, à ce niveau, c'est généralement près de 50 % des cristallins qui sont altérés. Certains, formant environ 5 à 10 % de ces galets (surtout gneiss et granites à micas noirs), sont arénisés et totalement désagrégés et montrent, le cas échéant, une couleur rouille à rougeâtre qui imprègne tout ou partie des éléments rocheux. Dans les autres, qui sont plus ou moins fortement fragilisés et fréquemment brisables à la main, les exsudations d'oxydes de fer tapissent les fissures ou la surface des cailloux : en lame mince, les ferromagnésiens sont souvent disloqués, des amas ferrugineux occupent les craquelures et les feldspath revêtent un aspect "brouillé".

Les cristallins indemnes ou peu touchés correspondent assez fréquemment, mais pas exclusivement, à des éléments leucocrates comme les aplites. Les quartzites sont parfois fissurés et, dans les profils hydromorphes, localement épigénisés par le fer. L'allure des divers schistes et pélites est très variable d'un point à l'autre. Enfin, le nombre de cristallins fragiles ou en voie d'arénisation évolue comme le taux d'argile de la matrice : il diminue peu à peu avec la profondeur mais reste encore relativement élevé juste au-dessus du front d'altération (20 à 30 % de l'ensemble des éléments cristallins, dans la coupe de Blagnac).

C. Le développement des faciès hydromorphes.

Dans les sols des basses plaines, on s'en souvient, si les faciès d'hydromorphie ne sont pas rares, du moins n'affectent-ils pas la majeure partie des profils : ils apparaissent notamment là où la grave est peu épaisse, les battements de la nappe phréatique supra-molassique se

traduisant alors par une remise en mouvement du fer dans les cailloutis et parfois à la base de la couverture limoneuse. Ici, en revanche, les faciès de redistribution du fer liés à l'hydromorphie sont beaucoup plus répandus, particulièrement dans les horizons Bt et IIBt. A cet égard, on peut distinguer :

a. <u>des sols lessivés hydromorphes</u>, où les horizons Btg et IIBtg montrent une marmorisation plus ou moins poussée, à plages rouille et grises, revêtements noirs de fer autour des agrégats et des graviers ou galets, petites concrétions ferrugineuses qui s'observent surtout au contact du limon et de la grave, épigénisations locales à la surface ou dans les fissures des galets, notamment dans les horizons IIBtg, IIBCg et IICBg ;

b. <u>des sols hydromorphes à profil de sols lessivés</u>, où la redistribution du fer se manifeste dès les horizons A_2 (légères bigarrures d'oxydo-réduction, racines gainées de rouille, très petites concrétions noires), lesquels présentent alors souvent une couleur plus claire (valeur supérieure à 6) et un taux de fer libre particulièrement bas (0,5 à 1 % - profil 28). Les horizons Btg sont très franchement marmorisés et plus ou moins riches en concrétions ferrugineuses (profil 29). Par endroit, au contact de la grave et du limon et surtout lorsque ce dernier n'est pas trop épais, se développe un véritable horizon concrétionné où graviers et petits galets sont pris en masse et soudés par un ciment ferrugineux, constituant ainsi un "grep" plus ou moins consolidé que l'on retrouvera à maintes reprises dans les terrasses plus élevées.

Dans certains cas, lorsque se combinent faible épaisseur du remblaiement alluvial et drainage déficient lié à la faible pente locale de la terrasse, les graves sont affectées de faciès hydromorphes très typés : s'esquissent alors, parfois très clairement, des "bandes de

dégradation" sub-horizontales de couleur grise à galets peu patinés, qui exploitent apparemment les discontinuités granulométriques de l'alluvion (profil 29). Les bandes grises contrastent avec la teinte plus vive, à tendance ocre ou brun-rouge, du reste de l'horizon. Alors que les galets cristallins altérés sont plutôt rouille dans la matrice colorée, leur couleur est généralement claire dans les bandes grises ; certains d'entre eux montrent par ailleurs un véritable cortex externe blanchi, épais de 1 à 3 cm, leur coeur restant alors uniformément rouille ou blanc à points rouille ; par endroit, dans ces plages grises, quelques quartzites offrent également un mince liseré clair en surface. Dans ces horizons, la distribution du fer libre, de même que celle des taux de libération du fer sont très fantaisistes : les valeurs varient d'un point à l'autre, plus faibles dans les zones claires, plus élevées dans les plages colorées.

Tous ces profils de sols hydromorphes et les formes de redistribution du fer qui y sont liées, s'observent de loin en loin dans les basses terrasses sensu stricto de l'avant-pays. En revanche, ils se développent plus fréquemment dans les alluvions de la basse Boulbonne et surtout dans celles du plateau de confluence de Lavilledieu-Montech. Localement, en particulier autour de Lavilledieu et dans la forêt de Montech, s'esquisse une organisation verticale de la distribution du fer dans les couvertures limoneuses : ébauches de glosses plus ou moins nettement exprimées mais qui vont prendre une certaine ampleur dès le stade des moyennes terrasses de l'avant-pays.

D. L'importance des minéraux à comportement de chlorites secondaires.

Dans les cortèges de minéraux argileux, la mont-

morillonite ne se montre jamais (1) ; en outre, la chlorite "primaire" (reconnue notamment en diffractométrie X par la raie (003) à 4,7 Å qui lui est propre et par sa réflexion (001) à 14 Å, insensible aux prétraitements classiques) est bien moins apparente que dans les sols bruns lessivés des basses plaines. Au contraire, les minéraux à comportement de vermiculite ou d'interstratifiés, surtout 14 C-14 V, plus rarement 10-14 C ou 10-14 V, abondent dans les profils (2). Ils caractérisent essentiellement les profils développés dans les couvertures limoneuses et les horizons IIBt qui les prolongent vers le bas ; plus en profondeur, en effet, leur part dans le stock d'argiles de la matrice des cailloutis est bien plus réduite (tableau 9).

(1) Exception faite des petits paliers inférieurs de la basse terrasse garonnaise, à Blagnac et Beauzelle, tapissés de limons calcaires, que nous avons évoqués antérieurement.

(2) Leurs caractères diffractométriques sont les suivants : vers les petits angles, réflexion basale à 12,5 Å-13,9 Å, repoussée à 10 Å (ou vers 12 Å dans certains cas) après chauffage ; raie à 7 Å, diminuant plus ou moins sous l'action de la chaleur ; raie à 3,53 Å du côté des grands angles. Parfois, le pic à 4,7 Å habituellement attribué à la chlorite subsiste sans que se révèle pour autant la raie proche de 14 Å stable à la chaleur qui signale la chlorite S.S.

	I	C	C-V-Al	K	Inter. g.
Blagnac (profil 25)					
A_2 25- 35 cm	M	f	M		
B_1t 50- 60 cm	F		M	f	
IIB_2tg 90-110 cm	F	f	M	f	f
IIBC 150-170 cm	F		m		f
IICB 290-310 cm	F	tr	m	tr	
IIC 410-430 cm	F	m	f	tr	
Castelmeyran (profil 26)					
A_{21} 10- 20 cm	M		F		f
A_{22} et $B_{11}t$ 25- 35 cm	M		F		
IIB_2t 60- 80 cm	F	f	M	f	f
Mazères (profil 28)					
A_{21} 15- 30 cm	F		M		
IIB_2tg 70- 80 cm	F		M	tr	tr
IIB_3tg 100-110 cm	F	f	M	tr	f
Montech (profil 29)					
A_2g 20- 30 cm	M	f	M	tr	
B_1tg 40- 50 cm	M	m	M	f	f
B_2tg 60- 70 cm	M	m	m	f	f
$IIBC_1g$ 130-150 cm	F	f	m		
$IIBC_2g$ 200-220 cm	M	m	m	m	

Tableau 9 : Evolution des minéraux argileux dans les sols lessivés et les sols hydromorphes à horizons caillouteux profonds modérément arénisés de l'avant-pays. I : illite ; C : chlorite primaire ; C-V-Al : chlorite secondaire ; K : kaolinite ; Inter.g. : interstratifiés gonflants. Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; M, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

Nous avons réuni cet ensemble de minéraux sous une seule rubrique, assimilable en première analyse aux chlorites secondaires que nous avons évoquées dans les pages précédentes. Cette simplification volontaire ne représente cependant qu'une approximation assez grossière : il est clair en effet que, dans certains profils tout au moins, une fraction de ces minéraux regroupés sous la rubrique "chlorite secondaire" ressortit sans doute à de véritables vermiculites ou à des interstratifiés banaux ; ainsi, dans les horizons IIBC, IICB et IIC des graves, c'est probablement la vermiculite qui domine dans ce groupe (lequel est ici du reste en quantités très modestes). Toutefois, l'abondance de ces produits dans les horizons supérieurs des sols, la capacité d'échange des argiles, un peu plus faible dans les horizons limoneux qu'elle ne l'était dans ceux des sols bruns lessivés "acides" des basses plaines (1), plaident en faveur de ces minéraux à espace interfoliaire garnis d'ions aluminium que sont les chlorites secondaires (Y. TARDY, 1969). Si l'on excepte le quartz, toujours mieux représenté dans les horizons A_2, on n'observe pas d'évolution très sensible le long du profil. Dans les graves, la chlorite primaire est souvent plus abondante que dans les limons ; parfois, la kaolinite apparaît en faible quantité dans les horizons IIBC, surtout dans les profils hydromorphes (profil 29), mais l'illite domine régulièrement dans la matrice des alluvions caillouteuses. En fait, le trait essentiel réside bien dans le développement des chlorites secondaires dans les horizons limoneux du sol : c'est là une particularité que l'on retrouvera non seulement sur toutes les terrasses plus élevées de l'avant-pays, par exemple, mais aussi dans les

(1) 30 à 50 milliéquivalents pour 100 grammes d'argile (valeurs calculées) contre 40 à 60 dans les sols bruns lessivés des basses plaines : il est vrai que l'abondance de quartz dans la fraction fine des horizons lessivés abaisse quelque peu la capacité d'échange en surface.

profils de sols lessivés et hydromorphes à horizons caillouteux profonds arénisés et rubéfiés des basses vallées montagnardes.

2 - Rubéfaction et arénisation profondes dans les basses vallées de la bordure pyrénéenne.

On vient de voir que, dans les basses terrasses de l'avant-pays molassique, le faciès d'altération des graves diffère notablement de celui qui, dans les basses plaines, marque les horizons caillouteux profonds des sols bruns lessivés. Toutefois, les galets cristallins totalement arénisés et transformés en sable y sont encore fort peu nombreux, tandis que la rubéfaction d'ensemble demeure modérée. Par contre, ces caractères acquièrent une toute autre importance dans certains niveaux de terrasses de la bordure pyrénéenne. Ainsi en est-il pour la haute terrasse de Foix-Cadirac, sur l'Ariège, celle du Salat, à Saint-Girons-Antichan, celle du Ger, qui domine le village de Soueich. Une semblable évolution affecte également les hautes terrasses de Seilhan et de Bentouy, dans la cluse garonnaise de Tibiran-Jaunac ; au sud de la Plaine de Rivière, les quelques lambeaux qui, on s'en souvient, s'élèvent à 15-25 m au-dessus de la plaine, notamment derrière Labarthe-de-Rivière (plateaux d'Espérades et du Cap de la Côte) au sud de Valentine (Prousic) et à Cier-de-Rivière, présentent des propriétés analogues, comme d'ailleurs, un peu plus vers l'aval, le niveau dit de la gare de Saint-Gaudens.

- Les profils différenciés développés dans les limons ne se distinguent pas sensiblement de ceux des basses terrasses de l'avant-pays (fig. 35 a, c). Les uns sont plus proches des sols bruns lessivés, comme sur la terrasse de Cadirac-Le Cussol par exemple ; les autres, qui représentent la majorité, s'apparentent à des sols lessivés hydromorphes ou à des sols hydromorphes à profil de sol

Figure 35 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés ou lessivés hydromorphes dans les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre.

Trait interrompu : limite supérieure des alluvions caillouteuses homogènes

- a. Profil 31 - b. Profil 32 - c. Haute terrasse de Soueich (Ger).

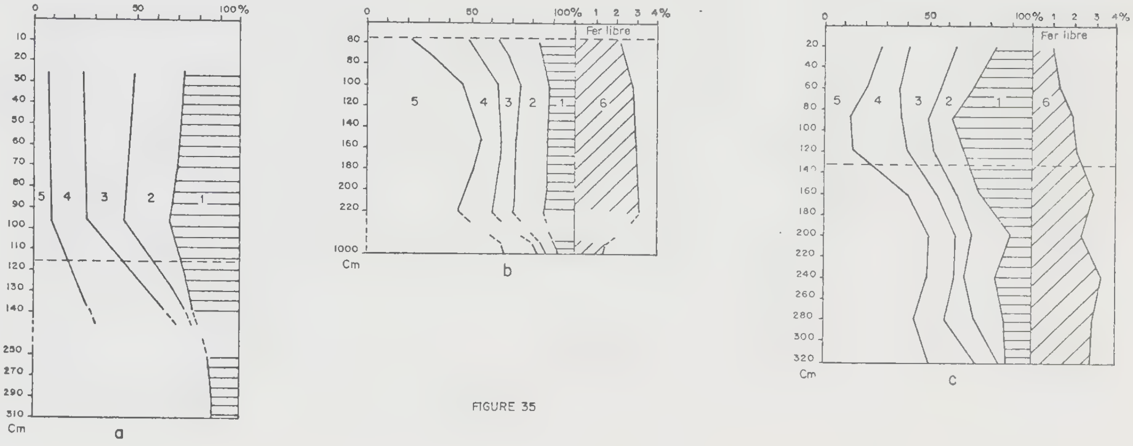


FIGURE 35

lessivé. Certains montrent des horizons concrétionnés par le fer (profil 31) ; d'autres sont marqués par les faciès à pseudogley (terrasses de Soueich et de Saint-Girons-Antichan) ; d'autres encore sont établis dans d'épais limons, probablement remaniés et engraissés, comme sur la haute terrasse de Seilhan (profil 30). Parfois, et tout particulièrement au-dessus de Soueich et de Saint-Girons, s'ébauchent quelques glosses gris clair dans des horizons A et B et Btg, mais elles n'apparaissent que de façon très discontinue et n'affectent localement que les couvertures limoneuses les plus épaisses.

- Les profils d'altération des alluvions grossières, en revanche, témoignent incontestablement d'une évolution nettement plus avancée que dans les basses terrasses de l'avant-pays, évolution que révèle essentiellement l'état des éléments cristallins. En effet, c'est souvent plus de 50 % des matériaux de cette nature qui sont totalement arénisés et transformés en sable à peine consolidé : néanmoins, le contour des galets arénisés est généralement bien respecté et l'intégration à la matrice demeure très limitée. La rubéfaction des galets ou des blocs se manifeste inégalement : les uns sont ocre-rouge dans la masse, avec des points ou taches blanchâtres correspondant aux amas farineux des feldspaths ; les autres n'offrent que quelques plages de couleur vive dans un ensemble blanc jaunâtre à brun très clair. Les ferromagnésiens, qui apparaissent macroscopiquement sous forme de points sombres, n'offrent plus guère de structure cristalline reconnaissable et les feldspaths sont souvent pulvérulents. Parmi les éléments non arénisés, les galets ou blocs fragiles et fissurés, à exsudations rouille d'oxydes de fer, sont nombreux : certains conservent au demeurant un coeur apparemment sain et relativement dur. Enfin, des matériaux cristallins plus ou moins frais se rencontrent en proportions variables d'une coupe ou d'un horizon à l'autre : assez

peu fréquents (moins de 20 %) dans la haute terrasse du Salat, ils sont plus abondants dans celle du Ger ou encore à Foix-Cadirac (30 % environ), de même que sous les limons de la terrasse de Seilhan et dans l'épaisseur du lambeau de Bentouy (1) ; granulites, aplites, pegmatites, migmatites leucocrates en constituent une partie, mais les roches à minéraux colorés n'y sont pas rares.

- La matrice des nappes caillouteuses est toujours à nette prédominance sableuse et les taux d'argile, qui se tiennent généralement entre 10 et 20 %, ne dépassent que rarement 20 %, exception faite bien entendu des horizons IIBt argilliques qui prolongent vers le bas les profils différenciés dans les couvertures limoneuses (fig. 35c). Sa coloration est éminemment variable d'un point à l'autre, en raison de la diversité des faciès d'altération des éléments : anciens schistes pourris jaune-ocre ou rouge vif ; débris de flysch cénomanien transformés en amas plastiques sombres ; sable rouille ou rougeâtre à points blancs, provenant vraisemblablement de la totale pulvérisation de cristallins ou de matériaux gréseux...

Il reste cependant que la tranche supérieure des nappes, incluant le cas échéant les horizons IIBt, est assez souvent plus nettement rubéfiée que les couches plus profondes (2) : les couleurs sont généralement proches de

(1) Les coupes ne dépassant pas 4 m d'épaisseur, elles ne permettent pas d'observer un éventuel front d'altération de profondeur ; par ailleurs, il s'avère qu'un gradient d'altération n'est pas non plus clairement perceptible, sauf peut-être à Foix-Cadirac ou à Labarthe-de-Rivière, où les éléments cristallins arénisés semblent un peu moins nombreux en profondeur.

(2) Mais ce phénomène n'est pas général : dans les hautes terrasses du Ger et du Salat, notamment, la rubéfaction est comparable à tous les niveaux du profil d'altération de la nappe grossière.

5 YR à 7,5 YR dans les horizons supérieurs, de 7,5 YR à 10 YR plus bas. Quoique parfois très fantaisistes, les teneurs en fer libre, fréquemment supérieures à 2 % et surtout les taux de libération du fer, qui dépassent à maintes reprises 40 à 50 %, sont dans l'ensemble plus élevés que dans les basses terrasses de l'avant-pays molassique. Dans ces dernières, le profil d'altération des graves était relativement homogène et montrait une évolution progressive du haut vers le bas ; ici, en revanche, l'altération plus poussée qui affecte notamment les éléments cristallins demeure relativement comparable jusqu'à une profondeur importante.

- A l'instar des basses terrasses de l'avant-pays molassique, les minéraux de type chlorite secondaire se développent largement dans l'ensemble des couvertures limoneuses (tableau 10). Par endroit, on note la présence de quantités modérées de kaolinite, toujours très subordonnée à l'illite et à la chlorite secondaire. Les matrices sableuses des nappes graveleuses, comme du reste l'arène prélevée dans les cristallins arénisés aux contours respectés, sont riches en matériaux illitiques ; parfois, la kaolinite est un peu moins marginale qu'elle ne l'est habituellement (profil 31) ; localement (Bentouy), apparaissent des interstratifiés gonflants en quantités appréciables.

	I	C	C-V-Al	K	Inter. g.
Labarthe-de-Rivière (profil 31)					
A_2 25- 40 cm	M	f	F	f	m
B_3tg 85-115 cm	M	m	F	tr	m
$IIBC_1$ 130-140 cm	F	tr	m	m	
$IIBC_2$ 250-270 cm	F	m	m	m	
Foix-Cadirac (profil 32)					
$IIBC_1$ 60- 80 cm	F	f	m	f	
$IIBC_2$ 90-110 cm	F	f	M	f	
$IIBC_4$ 210-230 cm	F	tr	m	f	
Saint-Girons-Antichan (profil 33)					
$IIBC_1$ 70- 90 cm	F	f	f	tr	f
$IIBC_2$ 280-300 cm	F	f	m		f
Soueich (Ger)					
A_2g 30- 40 cm	M	tr	F	f	
B_1tg 60- 70 cm	M	f	M	m	
IIBC 170-200 cm	F	f	f	tr	
Bentouy (Garonne)					
$IIBC_1$ 200-220 cm	F	tr	m	tr	m
$IIBC_2$ 350-400 cm	M	f	m	tr	M

<u>Tableau 10</u> : Evolution des minéraux argileux dans les formations à horizons caillouteux profonds arénisés et rubéfiés de la bordure pyrénéenne. I : illite ; C : chlorite primaire ; C-V-Al : chlorite secondaire ; K : kaolinite ; Inter.g. : interstratifiés gonflants. Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; M, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

En conclusion, basses terrasses et constructions alluviales à profils d'altération homologues de l'avant-pays, d'une part, et formations de la bordure pyrénéenne, que nous venons d'évoquer ci-dessus, d'autre part, diffèrent sans aucun doute par le degré d'arénisation ou de rubéfaction des nappes. Mais elles présentent aussi incontestablement des points communs qui, nous le verrons plus loin, pèseront lourdement lors de l'interprétation stratigraphique : ainsi en est-il pour le caractère sableux de la matrice des graves et la faiblesse (ou l'absence) de kaolinite dans les fractions fines. Dès le stade des moyennes terrasses de l'avant-pays, en revanche, argilisation de la matrice des cailloutis et développement de la kaolinite vont se manifester de façon éclatante.

LES EVOLUTIONS TRES POUSSEES : LES NAPPES
GRAVELEUSES ARGILISEES, RUBEFIEES ET KAOLINISEES

DES EVOLUTIONS TRES POUSSEES : LES NAPPES GRAVELEUSES ARGILISEES, RUBEFIEES ET KAOLINISEES.

1 - Un nouveau stade d'altération.

Une fois franchi le talus, souvent vigoureux, qui, dans l'avant-pays molassique, sépare basses et moyennes terrasses, on aborde un ensemble de niveaux alluviaux où les faciès d'altération diffèrent radicalement de tous ceux que l'on a pu observer jusqu'à présent. Mais ces transformations majeures n affectent véritablement que les remblaiements caillouteux, dont l'état de conservation, la nature et l'abondance des produits formés, signalent précisément le degré d'altération, lequel varie d'ailleurs assez largement entre le stade des moyennes terrasses et celui des nappes culminantes de l'avant-pays. Les propriétés des couvertures limoneuses, en revanche, demeurent relativement analogues lorsque l'on passe d'un niveau à l'autre (1).

A. Des manteaux limoneux très évolués mais peu différenciés d'un niveau à l'autre.

Sols bruns lessivés dans un cas, sols lessivés et sols hydromorphes dans l'autre, la différenciation des

(1) La superposition des limons sur les alluvions caillouteuses complique singulièrement le choix d'une terminologie appliquée aux profils. Doit-on tenir compte, en effet, de la rubéfaction plus ou moins prononcée qui affecte le sommet des nappes graveleuses, surtout à partir du stade des moyennes terrasses de l'avant-pays ? Dans ce cas, les profils à couverture limoneuse mince (ou éventuellement absente), ressortiraient alors à des sols fersiallitiques, voire à des sols ferrallitiques si l'on considère l'importance de produits comme la kaolinite dans la matrice des graves. Ce sont là des difficultés très réelles : rappelons que, dans un souci d'unité, nous avons choisi une fois pour toutes de qualifier tous les profils par leurs caractères de différenciation de surface, quelle que soit par ailleurs l'épaisseur de la couverture limoneuse.

profils nous a permis de distinguer jusqu'ici, tout au moins pour l'essentiel, l'évolution des couvertures fines des basses plaines de celle, plus prononcée, qui marque les basses terrasses de l'avant-pays molassique. Par contre, depuis les moyennes terrasses jusqu'aux nappes culminantes, aucun changement majeur ne pourra être noté, concernant le développement des profils limoneux : sur une même terrasse, tous les types d'organisation pédologique vont être observés, largement assujettis aux facteurs stationnels de la pédogenèse. Mieux, les profils les plus évolués qui, on s'en souvient, se montrent par endroit dans les basses terrasses de l'avant-pays ou sur les niveaux à horizons caillouteux profonds arénisés et rubéfiés de la bordure pyrénéenne, ne témoignent pas d'une pédogenèse moins poussée que la plupart des sols de limons des terrasses plus élevées. Cela dit, si l'on regroupe l'ensemble des données concernant l'évolution de ces couvertures limoneuses, il est possible de présenter un certain nombre de remarques.

a. Les sols bruns lessivés légèrement hydromorphes et à profil textural modérément différenciés, que l'on rencontre encore par place sur les basses terrasses, ne se retrouvent pratiquement jamais sur les niveaux plus élevés : ils n'apparaissent que là où les couvertures limoneuses ont été remaniées, circonstances d'autant plus fréquentes que les terrasses sont plus anciennes et plus démantelées. Par contre, les profils texturaux fortement différenciés, à indice de distribution d'argile compris entre 2 et 3, dominent très largement (fig. 36, 37, 38) (1). Toutefois, il faut prendre en considération les faits

(1) L'indice de distribution du fer libre est souvent plus difficile à interpréter, du fait de la redistribution du fer, très prononcée, liée à l'hydromorphie, comme on le verra plus loin.

Figure 36 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés hydromorphes (et apparentés) des moyennes terrasses de l'avant-pays

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre.

Trait interrompu : limite supérieure des alluvions caillouteuses homogènes.

m : limite supérieure du socle molassique (croquis a).

- a. Profil 34 - b. Profil 35 - c. Profil 39 - d. Profil 40 - e. Eaunes (Ariège).

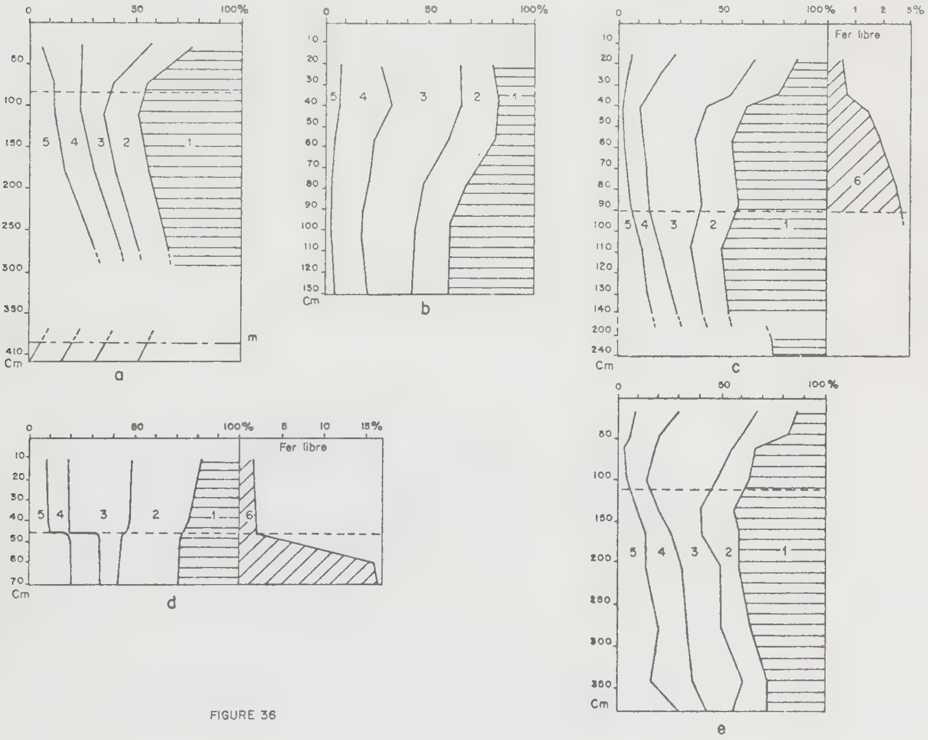


FIGURE 36

Figure 37 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés hydromorphes (et apparentés) des hautes terrasses de l'avant-pays

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre.

Trait interrompu : limite supérieure des alluvions caillouteuses homogènes.

- a. Profil 38 - b. Sainte-Foy-de-Peyrolières (Garonne) - c. Profil 42.

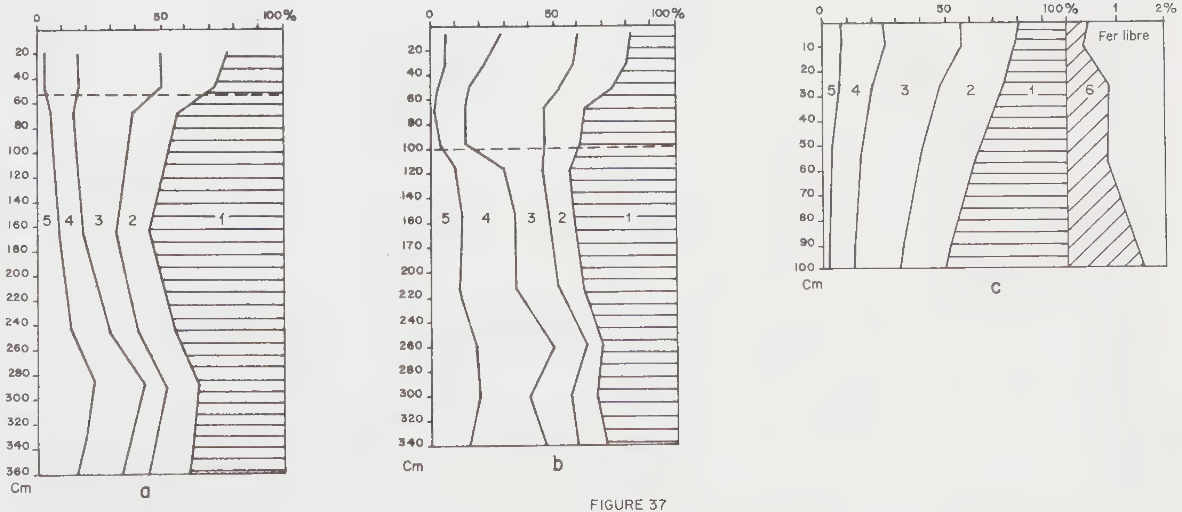


FIGURE 37

Figure 38 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés hydromorphes (et apparentés) des nappes culminantes de l'avant-pays

- 1. Argiles - 2. Limons - 3. Sables très fins - 4. Sables fins - 5. Sables grossiers - 6. Fer libre
Trait interrompu : limite supérieure des horizons [illegible] homogènes.
- a. Profil 13 - b. Profil [illegible] - c. Profil 16 - d. Profil 17.

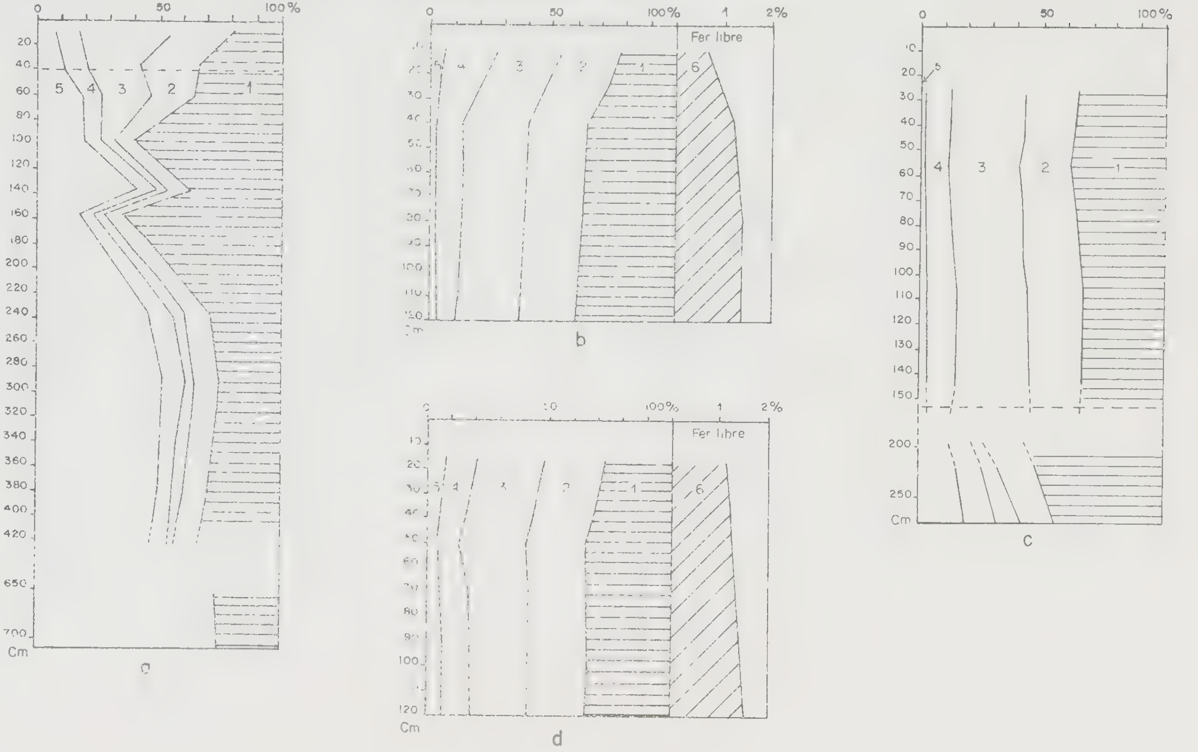


FIGURE 38

suivants :

- lorsque les couvertures limoneuses sont épaisses (plus de 100-120 cm), les teneurs en argile des horizons Bt restent relativement stables ou augmentent plus ou moins lentement avec la profondeur (fig. 36 b, e ; fig. 37 b, c ; fig. 38 b, c, d) : il n'existe donc pas d'horizon C à proprement parler dans les manteaux limoneux qui sont entièrement affectés par la pédogénèse, phénomène qui était du reste déjà parfaitement perceptible sur les basses terrasses de l'avant-pays ;

- le sommet de la grave, sous les limons, accuse fréquemment, en revnahce, une nette augmentation de la teneur en argile, d'autant plus marquée que la couverture fine est moins épaisse (fig. 36 a, c, e ; 37 a, b ; 38 a). Se pose alors un problème de terminologie : doit-on considérer les horizons très argileux du sommet de la grave comme des IIBt illuviaux ou comme des IIBC d'"altération" ? En effet, on le verra dans les pages qui suivent, dès le stade des moyennes terrasses de l'avant-pays, la décomposition des cailloutis est telle que la teneur en argile des horizons supérieurs de la nappe grossière ne suffit plus pour en faire nécessairement des IIBt ; en outre, ce taux élevé de particules fines se maintient souvent très en profondeur, dans les nappes les plus anciennes ; de même, enrobements d'argile et faces de pression autour des galets sont confondus et se poursuivent sur toute l'épaisseur des profils. En fait, il semble que les horizons argileux développés dans le sommet des graves ne représentent que partiellement des IIBt, même sous une mince couverture fine, tandis qu'ils sont plus proches de IIBC lorsque le manteau limoneux est particulièrement épais ;

- les horizons A_2 lessivés, pauvres en fer libre et en argile et bien souvent peu fournis en humus, offrent généralement une forte instabilité structurale (J. BERNOT, 1965 ; J.R. MARTY, 1969) : ils constituent ainsi une proie

facile pour l'érosion par ruissellement, là surtout où les conditions topographiques sont favorables (bordures de vallons ou de talus, par exemple) : de fait, les profils à différenciation texturale peu marquée ne sont pas rares (fig. 38 c), qui traduisent sans doute de cette façon le rajeunissement superficiel du sol ;

- sous forêt, les caractéristiques chimiques ne sont pas modifiées comme c'est fréquemment le cas dans les sols cultivés : pH (souvent inférieur à 5 dans les horizons de surface) et taux de saturations sont alors peu élevés (profils 38, 42). Aussi ces profils s'apparentent-ils par endroit à des sols lessivés podzoliques : rapport C/N supérieur à 17 en A_{12} et A_{21} (humus de type mull-moder) ; taux de saturation du complexe absorbant inférieur à 10 % dans l'horizon A_2 ; existence de spots véritablement cendreux et constitués uniquement de particules quartzeuses, au contact de l'horizon humique A_{11}, indice de distribution du fer libre supérieur à 4... (profil 42 ; fig. 37 c).

b. A partir des moyennes terrasses de l'avant-pays molassique (1), les faciès liés à l'hydromorphie sont beaucoup plus développés et individualisés que ceux qui ont pu être observés jusqu'à présent.

- Si, par place, on rencontre encore des sols lessivés hydromorphes à pseudogley de profondeur (fig. 39 a), presque tous les profils ressortissent cependant à la classe des sols hydromorphes, si l'on considère que les phénomènes de redistribution du fer se manifestent dès la surface, dans les horizons Ap et A_2g, lesquels montrent généralement une structure à tendance polyédrique aplatie ou franchement feuilletée, très caractéristique des horizons

(1) Comme du reste dans les couvertures limoneuses des terrasses de Montréjeau-Saint-Gaudens et Montespan-Montsaunès, sur la bordure pyrénéenne.

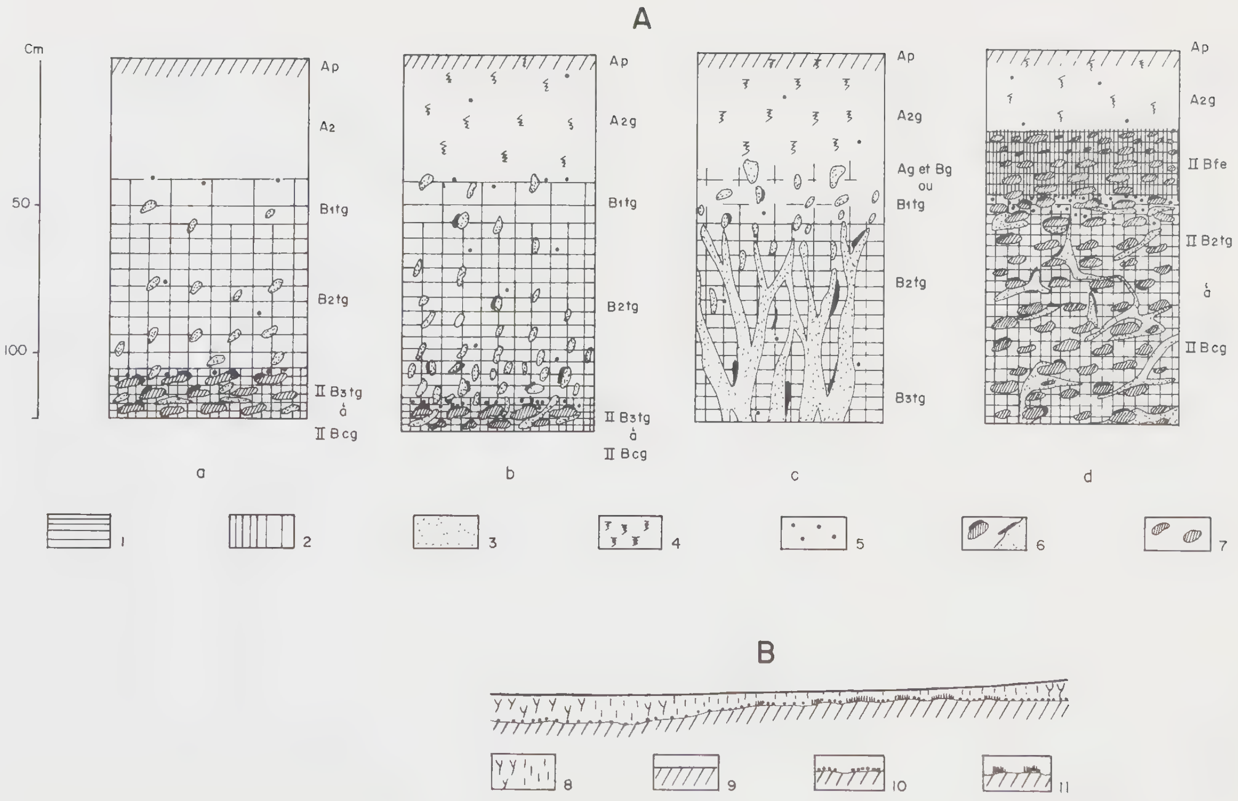

A
Cm
50
100
Ap
A2
B1tg
B2tg
II B3tg
à
II Bcg
a
Ap
A2g
B1tg
B2tg
II B3tg
à
II Bcg
b
Ap
A2g
Ag et Bg
ou
B1tg
B2tg
B3tg
c
Ap
A2g
II Bfe
II B2tg
à
II Bcg
d
1
2
3
4
5
6
7
B
8
9
10
11

FIGURE 39

Figure 39 - Principaux types de profils développés dans les couvertures limoneuses et au sommet des alluvions graveleuses des terrasses anciennes

- A. Profils schématiques - 1. Accumulation d'argile - 2. Accumulation de fer (pour argile et fer, l'espacement des traits est inversement proportionnel à l'importance de l'accumulation) - 3. Plages, liserés, bandes et glosses grises déferrifiés - 4. Taches d'oxydo-réduction dans les horizons supérieurs - 5. Concrétions ferrugineuses ou ferromanganiques - 6. Liseré rouille ou noir ferrugineux, généralement au contact des plages grises, des glosses ou des galets - 7. Galets patinés et altérés des nappes graveleuses.

- a. Sol lessivé hydromorphe - b. Sol hydromorphe, apparenté aux sols lessivés hydromorphes - c. Sol hydromorphe, apparenté aux sols lessivés glossiques - d. Sol hydromorphe à accumulation de fer (grep).

- B. Schéma de distribution des horizons concrétionnés par le fer (grep), dans les hautes et moyennes terrasses garonnaises - 8. Couverture limoneuse relativement épaisse à profils apparentés aux sols lessivés hydromorphes et aux sols lessivés glossiques - 9. Nappe graveleuse - 10. Formes de ségrégation discontinue du fer (concrétions, revêtements) - 11. Horizons concrétionnés (grep).

lessivés hydromorphes. Dans les horizons Btg, la marmorisation est très fortement exprimée et revêt par endroit un aspect qui rappelle celui du "fragipan" (horizon tassé à marmorisation serrée et réticulée) (fig. 39 b) ; elle s'accompagne le plus souvent d'une ségrégation du fer en concrétions et revêtements de couleur brune très foncée (1), d'autant plus nombreux que les limons sont chargés d'éléments grossiers, graviers, gravillons ou petits galets, en particulier au contact de la nappe caillouteuse sous-jacente. Cette franche redistribution du fer en plages nettement appauvries ou enrichies explique la difficulté d'interprétation des courbes de teneurs en fer libre dans ces profils hydromorphes, l'échantillonnage courant ne permettant que la mesure d'un taux "moyen" qui donne une image déformée du phénomène.

- Encore rares et mal exprimés dans les couvertures limoneuses des basses terrasses, les faciès glossiques, on l'a vu, sont un peu mieux représentés sur les plateaux de basse Boulbonne et de Lavilledieu-Montech, ou sur certaines terrasses de la bordure pyrénéenne (Soueich, Saint-Girons-Antichan), que nous avons évoquées antérieurement. En revanche, à partir des moyennes terrasses de l'avant-pays, les sols lessivés glossiques (R. DUDAL, 1953 ; M. JAMAGNE, 1969) (2) prennent une grande importance. Dans

(1) Concrétions, revêtements ou ciment ferrugineux des greps sont couramment qualifiés de ferromanganiques : en effet, des oxydes de maganèse s'y révèlent, quoique en teneurs très variables et toujours très marginales par rapport à celles du fer (J.R. MARTY, 1969). De là peut-être la couleur très sombre de ces éléments, qui a pu être attribuée aux oxydes de manganèse.

(2) Pour plus de précision, on pourra se reporter aux articles de J.C. BEGON (1972) et J.C. BEGON et M. JAMAGNE (1972), où se trouvent décrits les caractères micromorphologiques de ces sols.

ces profils, la redistribution du fer se manifeste sous forme d'un réseau de langues sub-verticales (les glosses) et plus ou moins anastomosées, qui traversent les horizons Btg (fig. 39 c), s'élargissant généralement avec la profondeur. Leur couleur, grisâtre à blanchâtre, devenant souvent plus claire dans les horizons profonds, tranche sur la teinte ocre ou brun-rouille des plages environnantes (profils 44 à 47) ; parfois, le contact entre langues grises et matrice colorée est souligné par une bande couleur rouille plus vive, dont l'épaisseur semble d'ailleurs croître avec la profondeur et qui présente un maximum de teneur en fer.

Dans les glosses, le taux de fer libre est faible, presque toujours inférieur à 1 %, contre 2 à 3 % dans les gangues colorées, et le rapport entre fer libre des glosses et fer libre de la matrice se tient entre 2 et 4. Par contre, la texture des glosses est comparable à celle du reste de l'horizon qu'ils traversent, ce qui montre bien que c'est seulement la redistribution du fer qui entre en ligne de compte, fait déjà observé par J.C. BEGON (1972). Au contraire même, l'analyse granulométrique des glosses fournit dans certains cas plus d'argile (5 % environ) que celle des plages colorées : ce phénomène, comme on a pu le vérifier à maintes reprises, semble lié au rôle du fer dans la cimentation des fractions fines en pseudo-particules limoneuses ou sableuses (A. BLOT et G. PEDRO, 1967).

Le passage entre les horizons A_2g et Btg se fait généralement de façon progressive, les plages claires, distribuées d'abord anarchiquement, s'organisant peu à peu avec la profondeur : ainsi se révèle plus ou moins clairement un horizon A et B de transition, qui traduit la "dégradation" hydromorphe et la "descente" progressive des horizons Bt dans les profils (M. JAMAGNE, 1972).

En règle générale, les sols lessivés glossiques n'apparaissent que dans les limons suffisamment épais dans lesquels un minimum de drainage est assuré : plus encore que sur les moyennes et hautes terrasses de l'avant-pays ou, sur la bordure pyrénéenne, celles de Montréjeau-Saint-Gaudens et Montespan-Montsaunès, les faciès glossiques caractérisent les manteaux limoneux des nappes culminantes garonnaises et ariégeoises ; nulle part ailleurs, et tout particulièrement en Lomagne, les glosses ne se développent avec autant de netteté et ne montrent une coloration aussi pâle et aussi révélatrice de l'énergique redistribution du fer dans les couvertures limoneuses (1).

- Esquissée sur les basses terrasses de l'avant-pays, la tendance vers les "planosols" (U.S.D.A. 1960, 1967) est ici manifeste : si le pH et le taux de saturation, d'ailleurs étroitement tributaires des pratiques culturales, ne varient pas toujours dans le même sens avec la profondeur, l'évolution des teneurs en magnésium du complexe absorbant est particulièrement révélatrice (2) : ces teneurs sont beaucoup plus fortes en profondeur, atteignant environ 30 % de la capacité d'échange des bases (fait déjà signalé par

(1) On notera que le développement des faciès glossiques ne concerne pas uniquement les couvertures limoneuses : non seulement, les "bandes grises" qui traversent les nappes graveleuses argilisées témoignent de processus analogues, mais la molasse, qui apparaît parfois dans les coupes, sous les matériaux caillouteux des terrasses anciennes de l'avant-pays, présente elle aussi un type de redistribution du fer comparable à celui des glosses (profil 34).

(2) L'élévation du taux de sodium dans le complexe absorbant est moins évidente et surtout moins régulière que celle du magnésium.

	T meq %	Mg meq %	Mg/T %
Léguevin (profil 34)			
A_2g 30- 50 cm	13,7	0,8	6,3
B_2tg 65- 85 cm	23,7	3,5	14,6
Bouet (profil 35)			
A_{21} 20- 30 cm	11,5	1,3	11,3
$A_{22}g$ 35- 45 cm	10,6	1,1	10,3
$A_{23}g$ et Btg 50- 60 cm	10,6	0,9	8,4
B_1tg 70- 80 cm	14,3	2,5	17,4
$B_{21}tg$ 90-100 cm	18,9	4,4	23,2
$B_{22}tg$ 120-130 cm	19,8	4,3	21,8
Brax (profil 39)			
A_2g 15- 30 cm	7,6	1,1	14,4
B_1tg 35- 45 cm	14,4	3,6	25,0
B_2tg 50- 60 cm	21,7	6,3	29,0
B_3tg 80- 90 cm	21,6	5,9	27,3
Estantens (profil 42)			
A_{11} 0- 3 cm	15,7	1,8	11,4
A_{12} et $A_{21}g$ 5- 15 cm	11,5	0,5	4,7
$A_{21}g$ et $B_{11}tg$ 20- 35 cm	11,6	1,4	12,0
$B_{12}tg$ 50- 60 cm	16,3	3,4	20,8
B_2tg 80-100 cm	23,0	6,8	29,5
Empeaux (profil 47)			
A_2g et B_1tg 15- 30 cm	14,5	1,6	11,0
B_2tg 40- 60 cm	16,1	2,2	13,6
B_3tg 60- 80 cm	15,2	3,9	25,6
B_4tg 110-120 cm	14,4	4,5	31,2

Tableau 11 - Evolution des taux de magnésium échangeable du complexe absorbant dans les sols hydromorphes à profils de sols lessivés et les sols lessivés glossiques.
T : capacité d'échange totale des bases ; meq % : milliéquivalents pour cent grammes de terre fine.

N. FEDOROF et al., 1969, dans la moyenne Garonne) (tableau 11). Macroscopiquement, certains profils montrent parfois une limite plus franche entre les horizons A_2g et Btg qu'elle ne l'est habituellement ; à l'analyse, ceci se traduit par une brusque élévation du taux d'argile dans l'horizon Btg (profil 39 ; fig. 37 c). Ces caractères sont d'autant plus accusés, on s'en doute, que le drainage est déficient.

- Les horizons IIBfe (1) indurés et concrétionnés par le fer, généralement qualifiés de greps dans la région, sont ici plus fréquents que dans les niveaux de terrasse évoqués antérieurement, dans l'avant-pays molassique ou sur la bordure pyrénéenne. Leurs caractéristiques demeurent cependant identiques (profils 40, 41) : au sommet de la nappe graveleuse, les cailloutis sont englobés dans un abondant ciment ferrugineux (2), lequel contient globalement, pour les greps courants les mieux exprimés, entre 10 à 20 % de fer total. La couleur d'ensemble est brune très sombre à noire, avec un réseau plus ou moins dense de plages ou langues blanchâtres très appauvries en fer, d'autant plus abondantes que le grep est encore peu consolidé. L'aspect est celui d'un poudingue à ciment ferrugineux, dont les limites sont ordinairement très franches, vers le haut, avec la couverture limoneuse lessivée, beaucoup plus progressives vers le bas, le grep passant alors à la grave altérée par un horizon de transition épais de 10 à 20 cm, riche en concrétions et revêtements noirs (fig. 39 c).

(1) Ces horizons pourraient être également notés, selon la nomenclature en vigueur, IIBcn ou IIBtn.

(2) Et souvent aussi manganique.

En fait, il existe une multitude de faciès entre la simple accumulation de concrétions et de revêtements, déterminant un horizon encore peu consolidé à l'état sec, et le véritable grep très dur, au ciment presqu'entièrement cristallisé. Il reste cependant que l'épaisseur et l'induration du grep, quoique très variables, sont souvent plus fortes à partir des terrasses moyennes de l'avant-pays que dans les basses terrasses. C'est ainsi que l'on observe parfois de véritables cuirasses ferrugineuses extrêmement résistantes, épaisses de près de 50 cm, comme dans la forêt de Bouconne, à l'ouest de Toulouse (haute terrasse de la Garonne) ou près de la Salvetat, sur la moyenne terrasse : de telles formations ne sont pas connues sur les basses terrasses.

Il est vrai, cependant, que ces faciès fortement cuirassés ne couvrent que des superficies très restreintes et s'apparentent beaucoup plus à des noyaux ponctuels qu'à une carapace généralisée. Au demeurant, les horizons concrétionnés à greps n'apparaissent pas n'importe où. Non seulement ils caractérisent les secteurs les plus mal drainés, surfaces planes ou légèrement dépressives où l'évacuation des eaux est particulièrement lente sinon presque totalement bloquée (1), mais ils sont aussi étroitement tributaires de l'épaisseur de la couverture limoneuse : le grep ne se forme en effet que sous une couche de limons ne dépassant généralement pas 50 à 70 cm d'épaisseur, faute de quoi c'est un profil de sol hydromorphe lessivé, plus ou moins glossique ou planosolique qui va se développer. De là l'extrême variabilité de ces faciès et le caractère apparemment fantaisiste de leur répartition, maintes fois soulignés par les agriculteurs : c'est que le grep se localise préférentiellement sur les points

(1) On les observe également dans certains fonds de vallons entaillant les terrasses.

hauts de la nappe graveleuse, alors que, quelques mètres plus loin, il se résoud en un horizon, certes riche en concrétions et en revêtements ferrugineux mais bien moins consolidé (fig. 39 B). En outre, la taille des éléments grossiers semble jouer un rôle important dans la formation du grep : là où graviers, gravillons ou galets de petit calibre abondent au sommet de la nappe caillouteuse, toutes autres conditions égales par ailleurs, les horizons à grep sont plus affirmés et la cimentation mieux assurée : ce fait avait du reste déjà été signalé par J. MALLET et J. LIWERANT (1956) et F. MOUTTAPA (1962).

c. Associés à l'illite, les minéraux intergrades de type chlorite secondaire se développent largement dans les couvertures limoneuses ; d'un horizon à l'autre, les cortèges demeurent relativement analogues (tableau 11). Toutefois, on notera que les interstratifiés gonflants, quoique peu abondants, se manifestent surtout dans les horizons Btg profonds : c'est là un nouvel indice de la tendance aux planosols que nous évoquions un peu plus haut. La kaolinite est toujours très subordonnée : on remarquera, à ce propos, que les minéraux de la famille de la kaolinite et ceux qui s'apparentent à la chlorite secondaire se distinguent généralement fort aisément sur les diffractogrammes comme le montre la figure 40. Dans cet exemple, on compare en effet d'une part, un type de diagramme couramment observé dans les couvertures fines des niveaux alluviaux antérieurs aux basses terrasses de l'avant-pays (fig. 40 a), d'autre part, un spectre fort caractéristique des limons qui drapent les plateaux de piémont (fig. 40 b). Dans le premier cas, outre le quartz (raies à 3,33 Å et 4,2 Å), c'est l'illite (10 Å et 4,97 Å) qui domine avec les chlorites secondaires (pics à 13,3 et 11,8 Å, repoussés à 10 Å après chauffage, et raies à 7Å et 3,52 - 3,54 Å). La kaolinite ne se marque que fort discrètement par de très légers pics à 3,58 et 7,2 Å. En revanche, les limons des plateaux de piémont sont riches

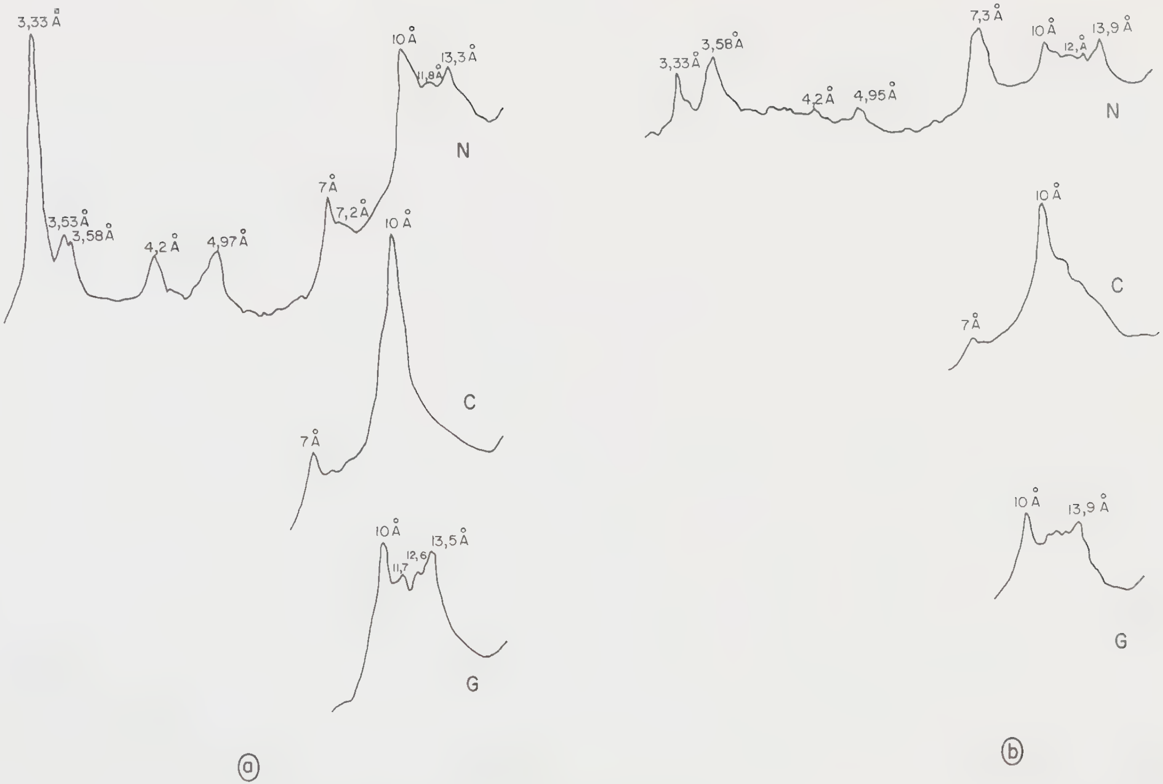

3,33 Å
3,53 Å
3,58 Å
4,2 Å
4,97 Å
7 Å
7,2 Å
10 Å
11,8 Å
13,3 Å
N
10 Å
7 Å
C
10 Å
11,7
12,6
13,5 Å
G
ⓐ
3,33 Å
3,58 Å
4,2 Å
4,95 Å
7,3 Å
10 Å
12, Å
13,9 Å
N
10 Å
7 Å
C
10 Å
13,9 Å
G
ⓑ

FIGURE 40

Figure 40 - Deux modèles principaux de spectre de diffraction X dans les couvertures limoneuses.

- a. Couvertures limoneuses (non remaniées des graves) des terrasses anciennes de l'avant-pays (profil 35, 35 - 45 cm) - b. Couvertures limoneuses des plateaux de piémont (profil 48, 80 - 90 cm).

- N. Echantillon naturel - C. Echantillon chauffé à 490°C durant 2 heures - G. Echantillon glycérolé.

Dans le premier cas (a), il s'agit essentiellement d'un mélange où l'illite, dominante (10 Å et 4,97 Å), s'associe aux minéraux du type chlorite - Al ou vermiculite - Al (raies intermédiaires entre 10 Å et 14 Å, s'évanouissant au chauffage au profit du pic principal de l'illite). On note des traces de kaolinite (7,2 Å et 3,58 Å; les raies à 7 Å et 3,53 Å appartiennent au groupe des chlorites et vermiculites, et l'ébauche de structures gonflantes au glycérol (raie à 13,3 Å passant à 13,5 Å). Le quartz abonde dans cet horizon lessivé (raies à 3,33 Å et 4,2 Å). Dans le second cas (b), en revanche, la kaolinite (7,3 A, disparaissant au chauffage et 3,58 A) domine nettement sur l'illite et les minéraux à 10 - 14 A.

- -

en kaolinite : la réflexion (001) à 7,2 Å (et parfois 7,3 Å) est très apparente et s'estompe d'ailleurs beaucoup plus après chauffage que la raie à 7 Å du spectre précédent. De même, la réflexion (002) à 3,58 Å est clairement définie et se distingue facilement de celle, plus proche des grands angles, qui signale la chlorite ou les minéraux intergrades, à 3,53 - 3,54 Å (1). On a donc là confirmation de la thèse soutenue au début de ce travail, à savoir que, plateaux de piémont et secteurs de remaniements exceptés, les couvertures limoneuses des nappes alluviales anciennes ne proviennent pas de la matrice argileuse des graves sous-jacentes et représentent, au contraire, des formations sédimentaires autochtones. Cela dit, on remarquera cependant que, sur la bordure pyrénéenne, notamment dans les limons qui recouvrent les terrasses de Montréjeau-Saint-Gaudens et Montespan-Montsaunès (tableau 12), la proportion de kaolinite est souvent plus élevée que dans l'avant-pays molassique : il est vrai que, de part et d'autre de la vallée de la Garonne, les plateaux de piémont ne sont jamais très loin et dominent généralement dans le paysage ; sans doute leurs épaisses couvertures limoneuses et limono-caillouteuses, riches en kaolinite, auront-elles pu alimenter quelque peu les manteaux meubles étalés lors des phases de remblaiement postérieures. Il reste que, dès le stade des terrasses moyennes de l'avant-pays et dès celui du niveau de Montréjeau-Saint-Gaudens, c'est le développement des minéraux de la famille de la kaolinite qui caractérise au premier chef l'altération des alluvions caillouteuses.

(1) Par ailleurs, dans les limons des plateaux de piémont, la capacité d'échange calculée de la fraction inférieure à 2 microns est généralement plus faible et dépasse rarement 30 à 35 milliéquivalents pour cent grammes d'argile.

Eaunes (Ariège)					
A_2g	0- 20 cm	M	M	tr	
B_2tg	70- 90 cm	F	M	tr	
Brax (profil 39)					
A_2g	15- 30 cm	F	M		
B_1tg	35- 45 cm	F	M	tr	
B_3tg	80- 90 cm	F	M	f	f
Montaut (Ariège)					
A_2g	10- 20 cm	M	F		
B_2tg	50- 70 cm	M	F	f	f
Bouet (profil 35)					
A_{21}	20- 30 cm	F	M		
$A_{22}g$	35- 45 cm	F	M	f	tr
B_1tg	70- 80 cm	M	F	tr	f
Estantens (profil 42)					
A_{12} et A_{21}	5- 15 cm	M	F	f	
B_2tg	80-100 cm	M	M	f	f
Forêt de Bouconne (profil 38)					
Ap	15- 25 cm	m	F	tr	
A_2g et B_1tg	40- 50 cm	M	F		
Pujaudran (profil 46)					
$A_{22}g$ et B_1tg	25- 35 cm	M	F	tr	f
B_2tg	50- 60 cm	M	F	tr	f
B_3tg	100-110 cm	F	M	f	m
B_4tg	140-150 cm	M	F	tr	f
Empeaux (profil 47)					
A_2g et B_1tg	15- 30 cm	F	M		
B_3tg	60- 80 cm	M	F	tr	tr
B_4tg	110-120 cm	M	F	f	f

(suite ci-après)

	I	C-V-Al	K	Inter.g.
Bois Passabet (Garonne ; terrasse Montespan-Montsaunès)				
A_2g 15- 35 cm	M	M	m	
B_2tg 60- 80 cm	F	m	M	tr
Savarthès (Garonne ; terrasse St-Gaudens)				
A_2g 20- 30 cm	M	F	m	tr
B_2tg 70- 90 cm	M	M	m	

Tableau 12 - Evolution des minéraux argileux dans les couvertures limoneuses des terrasses anciennes. I : illite ; C : chlorite primaire ; C-V-Al : chlorite secondaire ; K : kaolinite ; Inter.g. : interstratifiés gonflants. Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; M, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

B. Les faits majeurs : argilisation, colmatage et kaolinisation des nappes graveleuses.

A partir des terrasses moyennes de l'avant-pays, l'évolution des nappes graveleuses contraste singulièrement avec celle, relativement ménagée, qui affecte les horizons caillouteux des basses terrasses. De fait, ce sont des faciès d'altération véritablement nouveaux qui apparaissent dans les profils.

a. Un matériel profondément décomposé.

Dans l'épaisseur des nappes, tous les éléments cristallins sont altérés : la plupart sont totalement démantelés, fissurés et fragmentés ou, à tout le moins, se brisent fort aisément entre les doigts. Seuls résistent quelque peu, dans certaines terrasses, les galets issus de roches leucocrates, granulites, aplites, pegmatites, gneiss pauvres en éléments colorés, et ce d'autant plus que leur calibre est important. Dans les cas extrêmes,

les cristallins sont réduits à leur plus simple expression : vagues "fantômes" aux contours imprécis, ponctués de points ou d'amas blanchâtres, qui rappellent l'existence d'anciens galets aujourd'hui amalgamés à la gangue interstitielle en amas le plus souvent argilo-sableux et de couleur bariolée. Précisément, un grand nombre de ces cristallins semblent en voie d'être intégrés à la matrice, par l'intermédiaire d'un cortex externe, plus riche en particules fines que le coeur encore sableux des galets.

Schistes, pélites et divers grès, quoique fréquemment pulvérulents, montrent des faciès variables. Les quartzites, en revanche, offrent assez souvent un cortex périphérique clair, plus ou moins développé et parfois assorti d'un liseré rouille en profondeur, lequel repose alors sur le noyau de roche saine ; dans certains cas, et notamment sur les plateaux de piémont, ces galets sont entièrement grésifiés.

b. Des matrices fortement argilisées, enrichies en kaolinite.

La haute teneur en argile de la matrice interstitielle des graves constitue l'une des données essentielle de l'évolution des nappes à partir du stade des moyennes terrasses de l'avant-pays : ce phénomène est d'autant plus clair que, ni dans les basses terrasses, ni dans les matériaux fortement arénisés que nous avons décrits dans les basses vallées montagnardes et le long de la Garonne sous-pyrénéenne, la matrice des horizons caillouteux profonds ne perd à aucun moment son caractère sableux et grossier. Ici, au contraire, et si l'on fait abstraction des horizons IIBt qui, sous la couverture limoneuse, forment le sommet des cailloutis et sont souvent encore plus argileux, c'est très généralement entre 30 à 50 % que se tient le taux de particules fines (fig. 36, 37, 38 et fig. 41). Non moins important est le fait que les minéraux argileux kaoliniques, faiblement représentés dans la matrice des graves

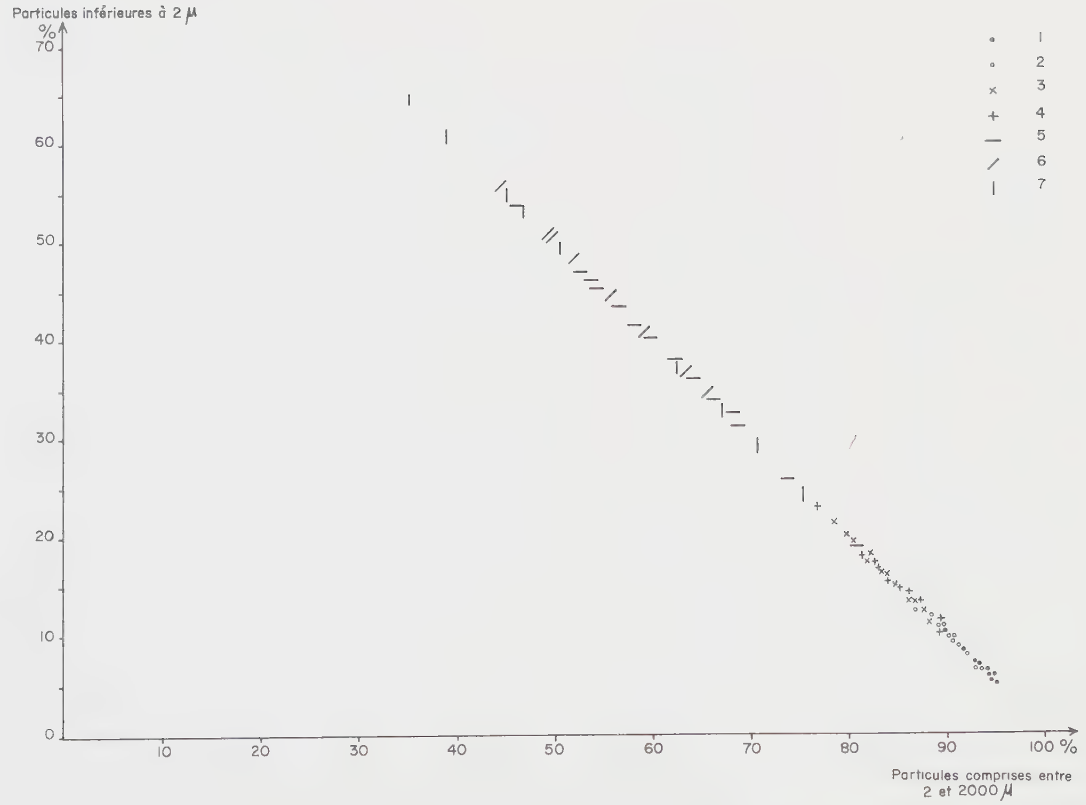

Particules inférieures à 2 µ
%
70
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100 %
Particules comprises entre
2 et 2000 µ
1
2
3
4
5
6
7

FIGURE 41

<u>Figure 41</u> - Richesse en argile granulométrique de la matrice des graves, au-dessous des horizons II Bt.

1. Nappes de la Plaine de Rivière et des terrasses de Foix-Courbet - 2. Basses plaines de l'avant-pays molassique - 3. Basses terrasses de l'avant-pays, basse Boulbonne et plateau de Lavilledieu-Montech - 4. Nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne - 5. Moyennes terrasses de l'avant-pays, haute Boulbonne et terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens - 6. Hautes terrasses de l'avant-pays - 7. Nappes culminantes de l'avant-pays.

Du point de vue de l'argilisation des matrices, les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne semblent beaucoup plus proches des basses terrasses que des moyennes terrasses de l'avant-pays. On notera également la très haute teneur en particules fines (supérieure à 50 %) de certains horizons très argilisés, notamment dans les nappes culminantes de l'avant-pays.

des basses terrasses, prennent un développement d'une ampleur inconnue jusqu'ici, au point de constituer une part prépondérante des cortèges.

c. Des nappes inégalement rubéfiées, mais régulièrement colmatées et "dégradées".

La coloration d'ensemble des horizons caillouteux est généralement vive, surtout dans les couches supérieures des nappes : les tons s'établissent habituellement vers le brun-rouge 5 YR ou 7,5 YR, ou même le rouge, 2,5 YR ; plus en profondeur, cependant, les tonalités s'éclaircissent quelque peu vers le brun proche de 10 YR, sinon vers le brun plus franchement jaunâtre, 2,5 Y. De fait, les taux de libération du fer atteignent des valeurs élevées, dépassant souvent 60-70 % dans les plages les plus saturées en rouge.

Néanmoins, il faut bien reconnaître que la teinte des profils est loin d'être homogène : non seulement, elle varie d une coupe à l'autre et pour un même niveau alluvial, mais, dans le détail, chaque profil révèle aussi une véritable marquetterie de couleurs : à toute une gamme de brun, de rouille ou de tons plus ou moins rougeâtres, répond une large palette de nuances claires, qui vont du gris-blanc au jaune brunâtre. C'est bien sûr que chacun des éléments rocheux, en passe d'être totalement intégré à la matrice, présente lui-même une multitude de faciès de coloration, lesquels reflètent pour une part au moins la nature et le degré d'altération du galet. Grés, schistes et pélites donnent ainsi des amas de couleur jaune, rouille ou rouge clair, tandis que les cristallins s'amalgament peu à peu à la gangue en une mosaïque de tonalités qui vont du gris le plus clair au brun-rouge le plus vif. Mais c'est surtout que, en raison de l'argilisation poussée de la matrice, les nappes graveleuses apparaissent comme véritablement colmatées et, de

ce fait, livrées aux effets de l'hydromorphie : ainsi, tous les horizons développés dans ces alluvions colmatées s'apparentent effectivement à des IIBtg et IIBCg à pseudogley.

De cette hydromorphie résultent les formes les plus variées de redistribution du fer, se traduisant en particulier par un intense bariolage de couleurs et par des concrétionnements ferrugineux plus ou moins marqués : revêtements sombres dans la matrice elle-même, sur ou à l'intérieur des galets fragmentés dont ils tapissent les fissures, épigénisation de gravillons et graviers. Mais cette redistribution du fer n'est jamais aussi éclatante que lorsqu'elle se manifeste par les "bandes de dégradation", de couleur grise très claire, fortement appauvries en fer, qui se développent dans l'ensemble des nappes graveleuses colmatées (fig. 43). Souvent sub-horizontales et généralement assorties de "bretelles" obliques qui les relient les unes aux autres, parfois bordées d'un liseré externe plus rouille et plus riche en fer que le reste de la matrice environnante, elles représentent en quelque sorte l'équivalent, dans les horizons caillouteux, des glosses sub-verticales qui, on s'en souvient, sillonnent nombre de manteaux limoneux. A l'extrême diversité de ces faciès de redistribution du fer répond, on s'en doute, celle qui caractérise les données relatives aux teneurs en fer libre ou aux taux de libération du fer, lesquels, de ce fait, ne sont pas toujours très faciles à interpréter ou à comparer, d'une terrasse à l'autre par exemple.

Forte altération des galets, argilisation et kaolinisation de la matrice interstitielle, rubéfaction, colmatage et redistribution du fer poussés : ces traits appartiennent en propre aux nappes graveleuses antérieures aux basses terrasses de l'avant-pays molassique et, dans la vallée sous-pyrénéenne de la Garonne, aux terrasses de Montréjeau-Saint-Gaudens et Montespan-Montsaunès. Il

reste que, d'un niveau à l'autre, ni l'allure des profils d'altération, ni l intensité de ces phénomènes, ne sont identiques : de fait, [redacted] trois stades majeurs [redacted] peuvent être distingués à cet égard, auquel s'ajoutera un quatrième, qui ressortit aux plateaux de piémont.

2 - Moyennes et hautes terrasses de l'avant-pays : des nappes caillouteuses à kaolinisation imparfaite.

Comparer les profils d'altération développés dans les formations qui, dans l'avant-pays molassique, s'étagent au-dessus des basses terrasses, revient dans tous les cas à souligner, d'une part, l'originalité des nappes culminantes, d'autre part, le caractère relativement proche des faciès d'altération qui se manifestent dans les alluvions graveleuses des hautes et moyennes terrasses. Entre ces dernières, toutefois, un certain nombre de différences appréciables se révèlent, qui portent à la fois sur l'organisation générale des profils, le degré de transformation des éléments rocheux et la composition de la matrice interstitielle des cailloutis.

A. Les moyennes terrasses de l avant-pays : galets cristallins encore abondants et kaolinites très désordonnées.

a. Le profil d'altération évolue avec la profondeur :

- la tranche supérieure des graves, correspondant aux horizons IIBtg ou $IIBC_1g$, selon les cas, et qui représente de 0,5 à 1,5 m d'épaisseur, offre généralement une couleur d'ensemble plus vive (5 YR à 7,5 YR) que les couches plus profondes (10 YR à 2,5 Y) ;

- la proportion de galets cristallins, quel que soit leur degré de décomposition, est plus faible en surface (10 à 30 %) qu'en profondeur (30 à 50 %) (fig. 42,

B a) : un certain nombre de ces éléments ont donc été presque totalement "digérés", comme l'indiquent d'ailleurs quelques amas blanchâtres ou vagues "fantômes" aux limites mal définies, entièrement intégrés à la matrice. Le pourcentage de cristallins augmente peu à peu en profondeur pour atteindre, à partir de 3 à 4 m sous le sommet de la nappe graveleuse, un taux assez voisin de celui qui caractérise les cailloutis des basses terrasses ou des basses plaines de l'avant-pays ;

- le degré d'altération et d'intégration à la matrice des éléments cristallins diminue progressivement vers le bas (fig. 42, A a, B a) : en surface, c'est souvent près de 50 % de ces galets qui, fortement décomposés et devenus plus ou moins plastiques, sont en voie d'intégration plus ou moins avancée à la matrice interstitielle. En lame mince, si les feldspaths potassiques apparaissent encore assez bien conservés, les plagioclases ne sont plus guère reconnaissables, sauf au coeur des éléments de calibre supérieur à 10 cm ; les ferromagnésiens sont désintégrés et réduits à des amas sombres isotropes ; dans les galets rubéfiés, l'ensemble de la lame est teinté d'un voile rouille ferrugineux. Avec la profondeur, les cailloux cristallins aux contours plus fermes et à la structure mieux conservée, deviennent nettement plus nombreux ;

- la teneur en argile de la matrice a tendance à baisser avec la profondeur (fig. 36 a, e) parallèlement, les formes de redistribution du fer sont plus vigoureuses et mieux exprimées au sommet des nappes, là où précisément, rubéfaction et argilisation (1) sont les plus nettes.
De fait, plages et bandes de "dégradation" décolorées se localisent préférentiellement dans les 1 à 2 m supérieurs des cailloutis.

(1) Celle-ci probablement amplifiée, il est vrai, par l'accumulation d'argile illuviée dans les horizons IIBtg.

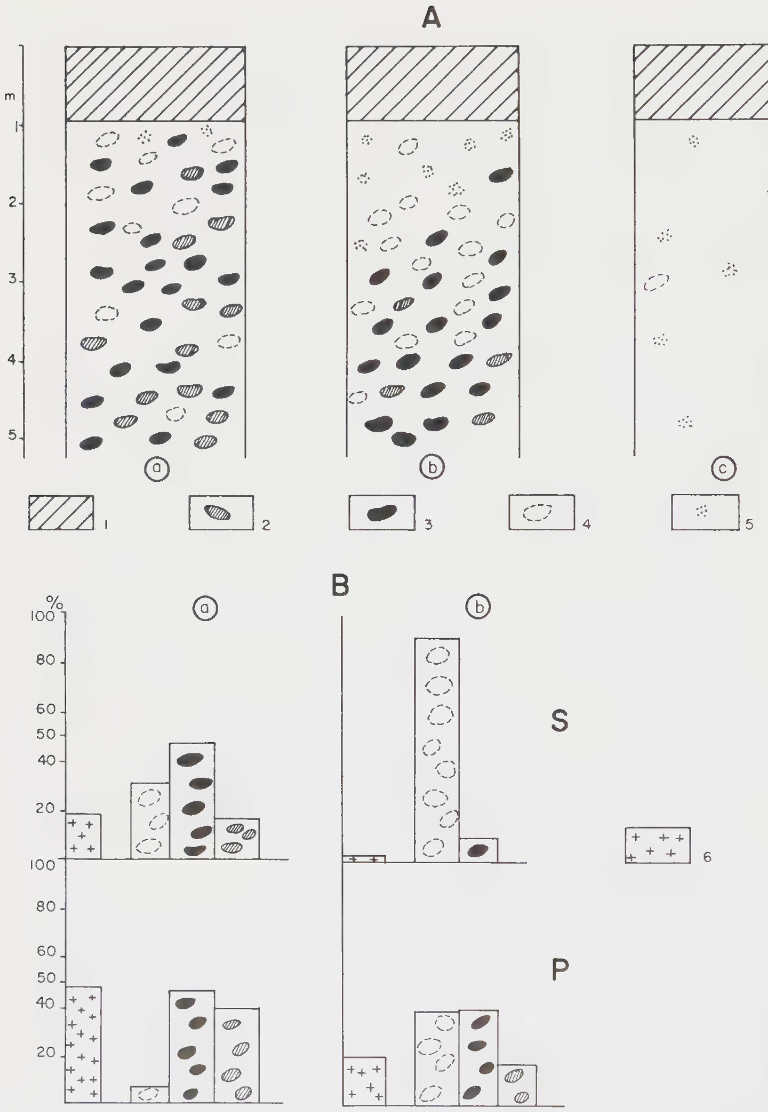


FIGURE 42

Figure 42 - Gradient d'altération des galets de roches cristallines grenues dans les profils des nappes graveleuses argilisées et colmatées

- A. Gradient d'altération des galets cristallins avec la profondeur - 1. Couverture limoneuse - 2. Galet cristallin altéré, peu intégré à la matrice interstitielle - 3. Galet cristallin fortement altéré, en voie d'intégration marquée à la matrice - 4. Résidus de galets cristallins à faciès de "fantôme" - 5. Amas blanchâtres non identifiables, résultant de la désintégration totale des galets cristallins.

- a. Terrasses moyennes - b. Hautes terrasses - c. Nappes culminantes.

- B. Proportions de roches cristallines grenues de différents faciès d'altération - 6. Proportion globale d'éléments cristallins encore identifiables, rapportée au nombre total de galets de toute nature - S. Sommet des nappes graveleuses - P. Horizons profonds des nappes graveleuses.

Dans les moyennes et hautes terrasses de l'avant-pays, l'altération décroît progressivement avec la profondeur, ce que traduit l'augmentation des proportions d'éléments cristallins de mieux en mieux conservés. En revanche, les nappes culminantes n'offrent pas de gradient significatif : l'altération est telle que la quasi-totalité des matériaux cristallins a disparu.

Cette intense redistribution du fer affecte également les éléments graveleux, quel que soit par ailleurs leur nature et leur degré d'altération : aux galets patinés en rouille ou brun-rouge de la matrice colorée répondent les surfaces beaucoup plus claires, comme "lavées", des cailloux situés à l'intérieur des zones grises deferrifiées (fig. 43, a). Dans tous les cas, les cortex périphériques, qui se développent parfois sur le pourtour des galets, traduisent fidèlement les modalités de la redistribution du fer (fig. 43 b) : dans les bandes grises, les cristallins montrent par endroit un cortex clair externe d'épaisseur très variable, peu cohérent et à texture grossière lorsque le galet est encore peu décomposé, plus plastique quand l'intégration à la matrice est déjà amorcée, le coeur demeurant alors relativement consistant et imprégné, totalement ou par petites plages, d'une couleur ocre ou brun rougeâtre ; ces cortex clairs ne s'observent pas dans la matrice colorée, où les cristallins altérés revêtent sinon un aspect uniforme (leur centre est généralement mieux conservé, surtout pour ceux qui sont issus de roches leucocrates), du moins une teinte habituellement brunâtre, rougeâtre ou ocre.

De même, un certain nombre de quartzites (1) présentent-ils un cortex blanchâtre, d'épaisseur également très variable (2), à l'intérieur des plages déferrifiées. Entre ce cortex et le coeur sain des galets se glisse fréquemment un très mince liseré rouille, d'autant plus net que le ruban clair superficiel est plus épais et mieux

(1) Dans les plages grises, ils représentent 10 à 20 % de la totalité des quartzites.

(2) De l'ordre du millimètre, parfois du demi-centimètre.

<u>Figure 43</u> - Esquisse schématique des faciès de redistribution du fer dans les nappes graveleuses argilisées et colmatées.

1 - Matrice intersticielle riche en fer, colorée - 2. Matrice intersticielle déferrifiée, grise (bandes, langues et faces de pression) - 3. Galets entièrement ou partiellement patinés en brun-rouge ou rouille - 4. Galets à surface claire - 5. Coeur dur et frais des quartzites - 6. Coeur altéré généralement rouille ou jaunâtre clair des galets cristallins - 7. Zones corticales grises - 8. Liseré ou patine rouille ou brun-rouge des quartzites - F Pc. Faces de pression argileuses des galets, brun-rouge ou rouille - F P d. Faces de pression argileuses des galets, grises.

- a. Relations entre les caractères de surface des galets et la nature de de la matrice

De façon générale, l'aspect de surface des galets reflète la nature plus ou moins ferrugineuse de la gangue qui les enrobe. Dans le détail, cependant, ni la matrice ni la surface des galets ne sont homogènes et des zones de concentration ferrugineuses colorées apparaissent au sein même des plages grises globalement déferrifiées.

- b. Développement des cortex et caractères de la matrice environnante

Cortex gris plus ou moins épais dans les plaques grises de la matrice; patine ou liseré rouille dans les plages colorées de la matrice ou sous le cortex gris des quartzites.

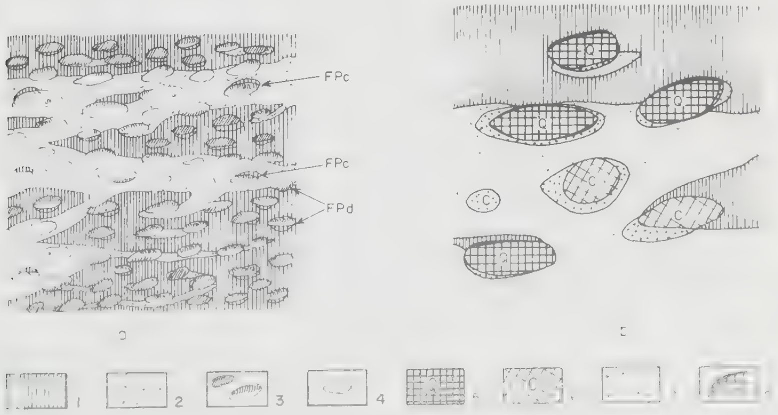


FIGURE 43

exprimé : seul ce liseré rouille subsiste en surface des quartzites lorsque ceux-ci sont plongés dans la matrice colorée, mais dans bien des cas il se réduit à une simple patine ocre ou brun-rouge (1).

En fait, c'est toute l'épaisseur des profils qui est soumise à la marmorisation et, si les larges bandes grises de "dégradation" ne se développent pas partout avec la même intensité, les plages déferrifiées de couleur claire sont innombrables : elles caractérisent tout particulièrement les fortes faces de pression argileuses qui tapissent la partie inférieure des cavités creusées dans la matrice et dans lesquelles sont logés les galets (fig. 43 a). A cela, il faut ajouter que la redistribution du fer se manifeste de manière encore bien plus complexe et bien plus fine : observée dans le détail, chaque zone de couleur apparemment homogène se trouve en réalité parsemée d'une multitude de petites plages de toutes dimensions. De là, l'extraordinaire panachage de ces profils, d'autant mieux perçu que l'échelle d'observation augmente ; de là aussi l'aspect "en camouflage" que revêt presque toujours la surface des galets.

b. Extrêmement diversifiés quant à leur coloration et à la distribution du fer, les profils d'altération correspondent également à une véritable mosaïque de pH (2) et ce

(1) Dans la classification établie par H. ALIMEN (1964), l'ensemble des quartzites des moyennes terrasses de l'avant-pays s'apparentent pour l'essentiel soit aux "quartzites d'Espoey" (pratiquement non touchés), soit aux "quartzites de Sarrat" (surface lisse de couleur claire), si l'on néglige les éléments à liseré rouille superficiel. Pour plus de détail concernant les cortex développés à la périphérie des galets dans les nappes anciennes, on se reportera aux descriptions très poussées de M. ICOLE (1970a, 1973).

(2) Qui reflètent, par voie de conséquence, des taux de saturation du complexe absorbant très divers.

d'autant plus que l'effet des marnages et des apports d'engrais minéraux aura pu dans certains cas se faire sentir même à grande profondeur, sans qu'il soit cependant possible d'apprécier l'ampleur de ce phénomène. Par ailleurs, dans un matériel aussi hétérogène, le pH "global" (1) d'un horizon déterminé ne donne qu'une image très approximative de la réalité. D'un point à l'autre d'un même horizon, en effet, et parfois à quelques centimètres seulement de distance, la différence peut atteindre facilement une unité pH. Outre cette extrême variabilité, on retiendra essentiellement que d'une part, les pH "globaux" sont fréquemment plus élevés en profondeur qu'au sommet de la nappe ; d'autre part, que le pH des matrices "fines" (2) est toujours plus acide (5 à 6) que celui des galets cristallins décomposés et en passe d'être amalgamés à la gangue (tableau 13).

(1) C'est-à-dire, celui qui caractérise un échantillon prélevé le plus souvent dans la matrice mais contenant généralement des débris de cristallins intégrés encore bien reconnaissables : c'est ce pH qui apparaît, par exemple, dans les tableaux d'analyse reportés en annexe.

(2) C'est-à-dire, dépourvues naturellement ou débarrassées artificiellement au laboratoire de leurs débris de cristallins largement intégrés.

	pH eau		
	1	2	3
Lèguevin (profil 34)			
100-110 cm	6,6		
170-180 cm	5,8	5,1	6
260-280 cm	6,5	5,3	6,4
360-380 cm	7,3	5,9	7,4
Les Pujols (profil 36)			
160-180 cm	6,6	4,9	6,0
220-240 cm	6,0	5,2	6,7
Montaut (Ariège)			
160-170 cm	5,7	5,1	5,7
210-220 cm	5,4	5,0	5,6
300-320 cm	6,1	5,9	6,6
Saint-Lys (Garonne)			
150-180 cm	5,4	5,0	5,5
200-220 cm	5,9	5,2	6,0
290-300 cm	6,3	6,1	6,0

Tableau 13 : Quelques exemples de variation du pH dans les graves argilisées et colmatées des moyennes terrasses de l'avant-pays. 1 : pH "global" ; 2 : pH de la matrice "fine" ; 3 : pH des cristallins déjà argilisés et en voie d'intégration à la matrice.

c. Les cortèges de minéraux argileux présentent les caractères suivants (tableau 14) :

- dans la matrice des graves, les minéraux de la famille des kaolinites représentent habituellement des quantités variables mais généralement assez importantes ; leur part est souvent plus faible en profondeur, là où

les galets cristallins peu amalgamés à la matrice sont les plus nombreux. Toutefois, les illites restent abondantes et dominent presque toujours dans les mélanges. La teneur en minéraux de type chlorites secondaires (et aussi éventuellement, chlorites primaires), vermiculites ou interstratifiés non gonflants (ensemble que nous avons regroupé en une seule rubrique C-V-Al), est très changeante d'un point à l'autre des profils ; les interstratifiés gonflants sont très subordonnés mais ne sont pas rares ;

- les minéraux kaoliniques offrent d'évidence une très médiocre structure cristalline (fig. 44 a, b, c) : sur les diffractogrammes, les raies à 3,58-3,60 Å et surtout à 7,2-7,3 Å sont très larges, évasées, d'allure fort irrégulière et sans pic aigu au sommet ; leur forme se modifie souvent d'un échantillon à l'autre et, parfois, la réflexion principale (001) ne se marque plus que par une brusque dénivelée vers les grands angles, sans qu'aucun pic, même émoussé, ne se dégage véritablement. C'est là l'indice de minéraux très mal cristallisés (C. LATOUCHE, 1971), que leurs caractères apparentent sans doute à des kaolinites désordonnées (G. MILLOT, 1964) ;

- dans les galets cristallins altérés, les zones externes en voie d'intégration à la matrice ne contiennent généralement qu'assez peu de kaolinite ; celle-ci n'apparaît pratiquement jamais, sinon en traces, dans le coeur encore relativement bien conservé et cohérent de ces galets.

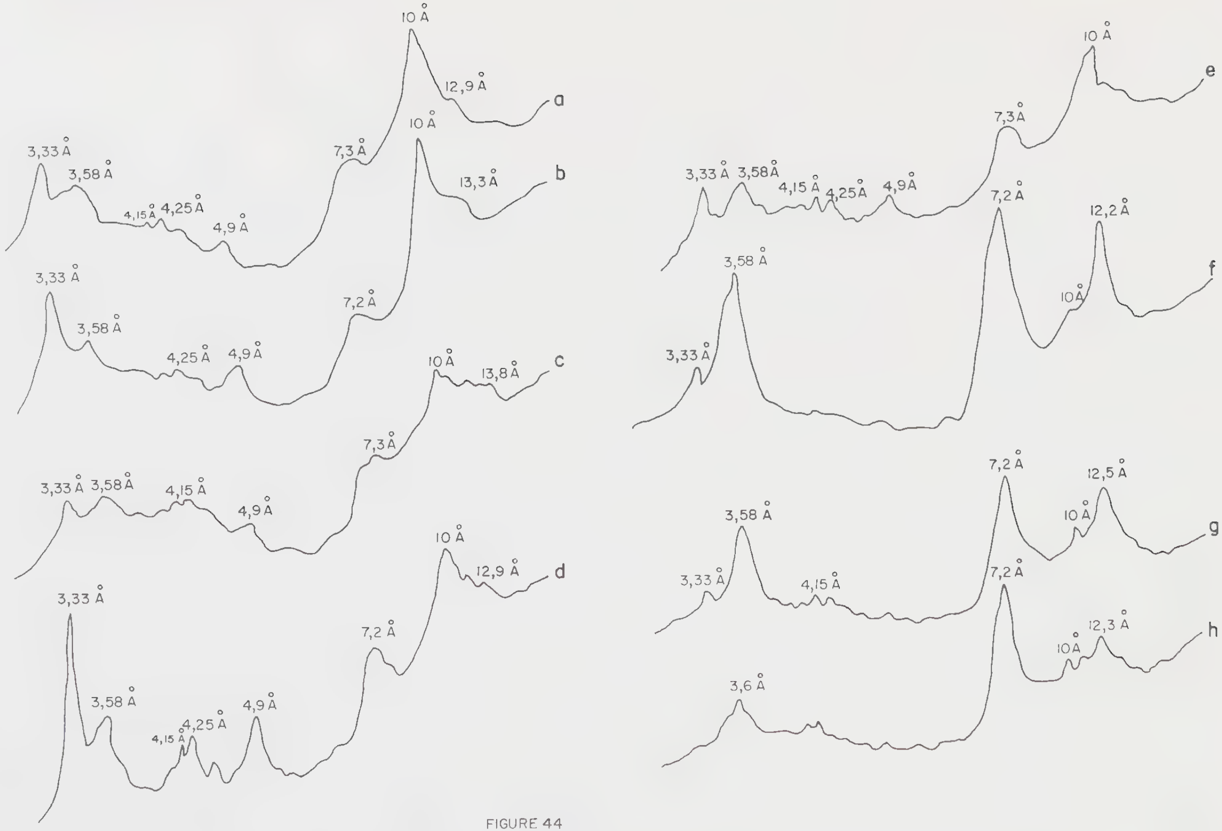

a
b
c
d
e
f
g
h
3,33 Å
3,58 Å
4,15 Å
4,25 Å
4,9 Å
7,3 Å
7,2 Å
10 Å
12,9 Å
13,3 Å
13,8 Å
12,2 Å
12,5 Å
12,3 Å
3,6 Å

FIGURE 44

Figure 44 - Quelques exemples de la cristallinité différentielle des minéraux kaoliniques (spectres de diffraction X) dans les matrices des nappes graveleuses argilisées et colmatées

- Moyennes terrasses de l'avant-pays et niveaux apparentés : a. Profil 34 (170-190 cm) - b. Eaunes (Ariège) (180-200 cm) - c. Profil 41 (115 - 125 cm).

- Hautes terrasses de l'avant-pays : d. Profil 38 (160-170 cm) - e. Sainte-Foy-de-Peyrolières (Garonne) (230-250 cm).

- Nappes culminantes de l'avant-pays : f. Profil 43 (150-160 cm) - g. Profil 46 (200-220 cm) - Estantens - La Forêt - cote 308 (Ariège) (190 - 200 cm).

Dans les moyennes et hautes terrasses, les minéraux kaoliniques sont relativement abondants (raies à 7,2 - 7,3 Å et 3,58 Å), mais généralement subordonnés au groupe formé par les illites et les minéraux à 10 - 14 Å. Leurs raies, notamment celles à 7,2 - 7,3 Å, sont larges, émoussées, très dissymétriques et traduisent le caractère désordonné des structures cristallines. Toutefois, dans les hautes terrasses, elles offrent la plupart du temps un degré d'organisation moins médiocre que dans les terrasses moyennes. Dans les nappes culminantes, en revanche, les kaolinites, qui constituent une large partie du stock d'argiles, apparaissent bien cristallisées : pics nets à 7,2 Å et 3,58 - 3,60 Å; bien dégagés du "bruit de fond", aigus et beaucoup moins dissymétriques. On note, dans toutes ces nappes argilisées, la présence fréquente de goethite (raie modeste à 4,15 Å), hydroxyde qui s'observe cependant parfois dans les graves des basses terrasses de l'avant-pays.

	I	C-V-Al	K	Int. st.
Léguevin (profil 34)				
II B_3tg 100-110 cm	F	m	m	f
II BC_1g 170-190 cm	F	f	M	
II BC_2g 260-280 cm	M	f	M	f
II BC_3g 360-380 cm	F	M	m	tr
III Cg 400-410 cm (molasse)	F	M	tr	m
Cristallin en voie d'intégration, 150 cm :				
Zone externe	M	M	m	
Zone centrale	F	M	tr	
Les Pujols (profil 36)				
II BC_1g 160-180 cm	M	m	M	f
II BC_2g 220-240 cm	F	m	M	
Brax (profil 39)				
II BCg 130-140 cm	F	m	M	
Montaut (Ariège)				
II B_3tg à II BC_1g 95-110 cm	M	m	M	f
II BC_2g 190-210 cm	F	f	M	
II BC_4g 400-420 cm	F	f	m	
Cristallin en voie d'intégration, 200 cm :				
Zone externe	F	m	f	f
Zone centrale	F	M		
Montréjeau (profil 41)				
II Bt_3g à II BC_1g 115-125 cm	M	m	M	f
II BCg 160-180 cm	F	f	M	tr

(suite ci-après)

	I	C-V-Al	K	Inter.g.
Eaunes (Ariège)				
II B_2tg à II BC_1g 130-150 cm	M	f	M	f
II BC_2g 180-200 cm	F	f	M	
II BC_3g 290-320 cm	F	M	m	

Tableau 14 - Cortèges de minéraux argileux dans les nappes graveleuses des moyennes terrasses de l'avant-pays molassique. I : illite ; c-V-Al : minéraux à comportement de chlorite, chlorite secondaire, vermiculite et interstratifiés non gonflants ; K : kaolinite ; Inter.g. : interstratifiés gonflants. Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

On notera par ailleurs qu'un hydroxyde de fer, la goethite, déterminée par sa raie principale à 4,15 Å, se marque fréquemment dans les diagrammes, aussi bien au sein de la matrice qu'à l'intérieur des galets altérés (sauf dans les cortex périphériques blanchis qui se développent dans les bandes grises ou à leur contact) (1). Enfin, un peu de gibbsite, substance reconnue à maintes reprises par M. ICOLE (1973) dans les cailloutis de la Neste et des Gaves, se manifeste localement dans le coeur de certains galets cristallins altérés (2).

(1) La goethite s'observe également par endroit dans les graves des basses terrasses, notamment lorsque les faciès sont hydromorphes, et encore plus fréquemment dans les cailloutis arénisés et rubéfiés que nous avons décrits dans certaines nappes de la bordure pyrénéenne.

(2) Il est vrai que le diagnostic de la gibbsite n'est pas très aisé, ses réflexions principales à 4,37 et 4,85 Å, toujours très modestes, étant voisines de celles à 4,25 Å du quartz et 4,9 Å de l'illite.

Dans l'avant-pays molassique, l'ensemble des caractères décrits ci-dessus appartiennent en propre aux terrasses moyennes de la Garonne et de l'Ariège, la haute Boulbonne y compris ; ils marquent également, à quelques nuances près (rubéfaction un peu plus poussée, galets cristallins moins nombreux) la terrasse moyenne du Tarn, qui porte Villaudric et Fronton. Sur la bordure nord-pyrénéenne, la terrasse de Montréjeau-Saint-Gaudens, celle de Montespan-Montsaunès, de même que le petit lambeau de la cote 444, au sud de Labarthe-de-Rivière, offrent eux aussi des faciès et des propriétés identiques. Dans l'avant-pays, cependant, et tout particulièrement à l'aval de Toulouse, certains des hauts paliers qui accidentent la moyenne terrasse garonnaise montrent, dans leurs profils, des attributs nouveaux qui les apparentent sans aucun doute à la haute terrasse de Rieumes.

B. Les hautes terrasses de l'avant-pays : des profils appauvris en galets cristallins, mais des kaolinites déjà mieux organisées.

a. Un net gradient d'altération avec la profondeur.

Macroscopiquement, les profils d'altération développés dans les formations homologues de la haute terrasse garonnaise de Rieumes, se distinguent surtout des précédentes par la quasi-disparition, au sommet des nappes graveleuses, des éléments cristallins, qui ne représentent plus guère que 1 à 5 % de l'ensemble des galets (fig. 42 Aa et Bb). A ce niveau, si quelques aplites ou pegmatites quoique fort délabrées, se reconnaissent parfois de loin en loin, presque toutes les roches cristallines grenues sont réduites à l'état de "fantômes" aux contours indécis et, plus souvent encore, à de simples amas blanchâtres riches en débris quartzeux et à reliques de feldspaths potassiques (1).

(1) Révélés plus ou moins nettement par coloration au cobaltinitrite en présence de vapeurs d'acide fluorhydrique.

Cependant, à partir de 1,5 à 2,5 m sous la surface des cailloutis, les cristallins deviennent de moins en moins rares et, vers 4-5 m de profondeur, leur proportion atteint environ 20 % de la totalité des galets. Parallèlement, et comme dans les moyennes terrasses, le degré d'altération et d'intégration à la matrice diminue peu à peu, de telle sorte qu'en profondeur, c'est près de 20 % des éléments cristallins, au coeur relativement cohérent et au pourtour encore peu amalgamé à la gangue, qui apparaissent dans les profils. De la même façon, la teneur en argile de la matrice, qui décroît progressivement vers le bas, témoigne d'une évolution analogue et traduit également, quoique plus irrégulièrement, le gradient d'altération qui se manifeste avec la profondeur (fig. 37 a, b).

La plupart des autres caractères macroscopiques et analytiques (notamment, pour ces derniers, le pH et la saturation du complexe absorbant), sont voisins de ceux que révèlent les profils d'altération des terrasses moyennes. En particulier, ni l'épaisseur et la coloration de la tranche sommitale plus rubéfiée, ni l'intensité des faciès de redistribution du fer, n'offrent à cet égard de différences véritablement significatives : sur un même niveau de terrasse, les conditions locales de drainage semblent jouer le premier rôle dans le développement et l'expression de la rubéfaction et des formes de redistribution du fer (1).

b. Des minéraux kaoliniques moins désorganisés.

Dans l'ensemble, la nature et la distribution des minéraux argileux de la matrice interstitielle des graves

(1) On notera toutefois que les quartzites à cortex sont ici plus fréquents que dans les graves des terrasses moyennes : dans les zones grises déferrifiées, 15 à 30 % de ces galets présentent un cortex clair périphérique d'épaisseur très variable. Par ailleurs, dans les plages colorées, les liserés rouille superficiels sont moins rares et revêtent déjà par endroit l'aspect d'un véritable cortex à tendance légèrement gréseuse, encore mince et très localisé, qui deviendra plus important et mieux exprimé dans les nappes culminantes.

sont relativement proches de celles qui s'observent dans les moyennes terrasses (tableau 15). Comme dans ces dernières, la teneur en kaolinite est moins élevée dans les horizons profonds où les galets cristallins altérés deviennent plus nombreux. Cependant, les minéraux kaoliniques sont parfois un peu plus abondants ici qu'ils ne l'étaient précédemment, tout au moins dans les couches supérieures de la grave. D'autre part et surtout, leurs réflexions diffractométriques principales (001) à 7,2-7,3 Å, bien que présentant toujours un pic très émoussé, sont généralement mieux exprimées que dans les graves des terrasses moyennes, reflétant sans doute ainsi des édifices cristallins déjà plus organisés (fig. 44 d, e). Néanmoins, ce caractère s'estompe dans les horizons profonds où l'on retrouve alors fréquemment le faciès diffractométrique à kaolinites très désordonnées. Comme dans les terrasses moyennes, le coeur de certains galets cristallins encore légèrement cohérent, dans les horizons profonds, montre parfois le pic discret à 4,85 Å qu'on peut attribuer à la gibbsite.

	I	C-V-Al	K	Inter.g.
Forêt de Bouconne (profil 38)				
II BC_1g 160-170 cm	M	m	M	tr
II BC_2g 240-250 cm	M	f	F	
II BC_3g 280-300 cm	F	f	M	
II BC_4g 340-360 cm	F	M	m	f
II BC_5g 410-430 cm	F	m	m	f
"Fantôme" de cristallin totalement argilisé, 270 cm:				
zone externe	F	m	M	f
zone interne	M	M	M	
Galet cristallin altéré en voie d'intégration, 430 cm:				
zone externe	M	m	M	
zone interne	F	M	m	
Sainte-Foy-de-Peyrolières (Garonne)				
II B_3tg à II BC_1g 130-150 cm	M	m	M	f
II BC_2g 230-250 cm	F	f	M	tr
II BC_4g 370-390 cm	M	M	m	m
Thil (Garonne)				
II BC_1g 150-170 cm	M	f	F	
II BC_2g 240-260 cm	M	m	M	f
Labastide-Clermont (Garonne)				
II BCg 180-200 cm	M	m	F	tr
Eaunes-Barrot (Ariège) (affleurement de haut versant de vallon) 50- 70 cm	M	f	M	f

(suite ci-après)

	I	C-V-Al	K	Inter.g.
Saint-Sardos (Garonne)				
II BC_1g 190-210 cm	F	m	M	
II BC_2g 230-250 cm	F	M	m	f

Tableau 15 - Cortèges de minéraux argileux dans les nappes graveleuses des hautes terrasses de l'avant-pays molassique. I : illite ; C-V-Al : minéraux à comportement de chlorite, chlorite secondaire, vermiculite et interstratifiés non gonflants ; K : kaolinite ; Inter.g. : interstratifiés gonflants. Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

Tels sont donc les attributs de la haute terrasse garonnaise de Rieumes, laquelle, il faut le rappeller, n'est à peu près continue et véritablement bien individualisée qu'à l'amont de Toulouse. Vers l'aval, en revanche, là où la distinction purement topographique entre nappe culminante, haute terrasse et paliers supérieurs de la terrasse moyenne s'avère fort malaisée, les coupes font trop souvent défaut pour autoriser dans chaque cas une affectation précise. On retiendra toutefois que, au nord de la Save, les paliers du château de Marnac, de Thil et de Galembrun, s'apparentent effectivement à la haute terrasse. Par contre, si la nappe qui constitue le plateau en escalier de Saint-Sardos doit être, elle aussi, rapportée à la haute terrasse, les caractères qui définissent cette dernière ne se retrouvent plus entre les ruisseaux de Marguestaud et de Lambon. Le haut palier de Burgaud et son prolongement septentrional appartiennent en effet incontestablement à la moyenne terrasse (1) (sommet des graves encore riche en galets cristallins et kaolinites de la matrice très désordonnées), tandis que les croupes de Belleserre et de Beaupuy offrent les capacités classiques des nappes culminantes, que nous évoquerons dans les pages suivantes. Enfin, plus

(1) Comme l'indique du reste la carte géologique au 50 000°, feuille de Grenade-sur-Garonne.

à l'aval encore, la distinction entre niveaux est d'autant plus délicate à établir que la nappe culminante de Lomagne s'abaisse progressivement du sud-ouest vers le nord-est, jusqu'à l'altitude de la moyenne terrasse qui, au-dessus de Garganvillar et de Caumont, se tient autour de 130-140 m : dans ces secteurs, les formations équivalentes à la haute terrasse de Rieumes n'ont pu être véritablement reconnues.

La situation n'est guère différente le long de l'Ariège, depuis Saverdun jusqu'à la zone de confluence avec la Garonne. Là aussi, en effet, entre les lambeaux de nappe culminante qui coiffent les coteaux de molasse et les éléments de plateau de la terrasse moyenne, c'est une multitude de replats faiblement étendus et plus ou moins bien conservés qui ont été rapportés au stade des hautes terrasses (1).

. Là encore, il faudrait pouvoir contrôler systématiquement cette attribution, opération que l'extrême rareté des coupes interdit le plus souvent. Toutefois, là où des observations, même fragmentaires, ont pu être effectuées, par exemple sur des affleurements graveleux limités au sommet des versants de vallons, ce sont bien les caractères de la haute terrasse qui apparaissent : quantité fort restreinte de roches cristallines grenues et minéraux kaoliniques moins désordonnés que dans les terrasses moyennes. C'est le cas en particulier au-dessus de Lagrâce-Dieu, près de la ferme Carlou ou, non loin du confluent garonnais, près de la ferme Barrot, sur le rebord du petit plateau qui domine de 25-30 m la moyenne terrasse d'Eaunes.

(1) Notamment sur les feuilles de Muret, Cazères et Saverdun de la carte géologique au 50 000°.

Dans la Plaine de Rivière, le replat très dégradé qui, s'inscrit sous le plateau de Lannemezan, surplombe le village de Villeneuve-de-Rivière, n'offre pas lui non plus de coupe satisfaisante. Néanmoins, dans le matériel de déblai issu du creusement de fondations, et en dépit de l'aspect diffractométrique peu convaincant des minéraux kaoliniques, la grande rareté des galets cristallins milite plutôt en faveur d'une attribution au stade des hautes terrasses de l'avant-pays molassique.

3 - Les nappes culminantes de l'avant-pays : des formations très altérées à minéraux kaoliniques abondants et bien cristallisés.

A. Un matériel très fortement décomposé.

- Dans les nappes culminantes, la majorité des éléments caillouteux plus ou moins respectés par l'altération est formée de quartz et quartzites, assortis d'une petite proportion très variable de lydiennes. A l'opposé des hautes et moyennes terrasses, les profils ne montrent pratiquement jamais plus de roches cristallines grenues encore relativement conservées, même à grande profondeur (fig. 42 Ac) : seuls apparaissent par endroit des "fantômes" entièrement intégrés à la matrice argileuse et, plus fréquemment, des amas blanchâtres à sables et gravillons quartzeux où les feldspaths potassiques ne sont que très rarement décelables. De loin en loin, cependant, se rencontrent quelques éléments encore reconnaissables, pegmatites ou gneiss quartzeux très délabrés.

De fait, si l'argilisation de la matrice est plus forte au sommet des cailloutis que dans les couches inférieures (fig. 38 a), l'observation des coupes ne révèle plus le net gradient d'altération avec la profondeur qui, dans les formations précédentes, caractérisait les galets

cristallins : ainsi, dans les cailloutis de Lomagne, à environ 10 m sous la surface, l'altération globale ne semble pas beaucoup moins poussée que dans la tranche supérieure de la nappe, n'était le caractère moins argileux de la matrice interstitielle.

- Rubéfaction et redistribution du fer, quoique très variables d'un profil à l'autre puisque réglées essentiellement par les conditions locales de drainage interne, sont en général plus marquées, au sommet des nappes graveleuses culminantes, qu'elles ne l'étaient dans les hautes et moyennes terrasses. Les plages les plus rubéfiées de la matrice atteignent 2,5 YR dans les horizons sommitaux, devenant peu à peu plus ocre vers le bas, autour de 7,5 YR à 5 YR. Mais c'est surtout l'intensité de la redistribution du fer dans les couches supérieures des nappes qui frappe l'observateur : nulle part mieux qu'ici, en effet, le contraste entre bandes de "dégradation" sub-horizontales, pratiquement blanches par endroit (valeur souvent égale ou supérieure à 7 ; chroma proche de 0) et matrice colorée n'est aussi vif (1). Ce phénomène s'atténue généralement peu à peu avec la profondeur et ne se manifeste plus, selon les cas, que par l'apparition épisodique de plages déferrifiées d'orientation quelconque et d'épaisses faces de pression argi leuses de couleur grise, plaquées contre la face inférieure

(1) Les données analytiques expriment parfaitement l'intensité du phénomène. Dans le profil 43, vers 150 cm de profondeur, la matrice ocre-rouge offre des teneurs en fer total et fer libre qui sont respectivement de 10,15 % et 6,08 %, le taux de libération du fer atteignant 60 % ; en revanche, dans les bandes déferrifiées, les proportions tombent à 1,95 % pour le fer total, 0,72 % pour le fer libre et 36 % pour le taux de libération du fer.

des galets.

Pour ce qui concerne les caractères chimiques, et quelle qu'ait pu être l'incidence des apports minéraux liés à la mise en culture, on notera que les nappes graveleuses culminantes sont plus franchement acides que les moyennes et hautes terrasses, et ce sur toute l'épaisseur des profils ; les pH-eau se tiennent couramment entre 4,5 et 5,5, la moyenne de 29 mesures se situant à pH 4,9 (1).

- Le développement des cortex qui entourent les galets de quartzites est beaucoup plus général ici que dans les moyennes et les hautes terrasses. Mais les faciès sont extrêmement diversifiés, selon le calibre et la situation des galets :

- à l'amont de la Save, là où les quartzites sont ordinairement un peu plus nombreux que les quartz (2), la taille moyenne des éléments est encore importante et les longueurs comprises entre 5 et 15 m sont les plus fréquentes. Dans les bandes grises ou au contact des plages déferrifiées, les cortex périphériques blanchâtres, épais de 1 mm à 1 et parfois 2 cm, sont très répandus ; ils sont séparés du coeur non altéré de la roche par une auréole interne brun-rouille, très irrégulièrement développée il est vrai et qui n'existe pas toujours. Seule cette dernière apparaît dans la matrice colorée, mais cette fois en surface des galets ; son épaisseur, très variable, dépasse parfois un centimètre, si bien que la surface des cailloux revêt alors un aspect vaguement gréseux. Mais, sous cet habillage cortical, la roche reste la plupart du temps saine et de couleur gris-vert : rares sont en effet les quartzites

(1) Assez curieusement, le taux de saturation du complexe absorbant, au demeurant très variable, reste souvent assez élevé pour les ces pH et rarement inférieur à 40 milliéquivalents pour cent.

(2) Du moins le long de la Garonne, le bassin d'alimentation de l'Ariège comportant nettement moins de quartzites.

altérés à coeur, lesquels ne représentent qu'une proportion fort réduite, de l'ordre de 5 % de l'ensemble des éléments quartzitiques (1) ;

- à l'aval de la Save, et tout particulièrement en Lomagne, la teneur en quartzites des cailloutis est nettement plus faible qu'à l'amont et leur calibre moyen généralement inférieur à 5-6 cm. Ici, les cortex blanchâtres périphériques sont souvent très épais (1 à 2 cm) et la proportion de galets altérés en brun-rouge jusqu'au coeur peut être estimée à 20 % environ.

B. <u>Des édifices kaoliniques bien cristallisés.</u>

Dans les nappes culminantes et contrairement aux hautes et moyennes terrasses de l'avant-pays, les espèces de la famille de la kaolinite jouent presque toujours le premier rôle dans les stocks de minéraux argileux (tableau 16). Mais c'est aussi leur aspect diffractométrique qui retient l'attention : les réflexions sont fermement dessinées, notamment celles correspondant à la raie (001) à 7,2 Å, et offrent des pics pointus clairement exprimés, traduisant ainsi le bon état de cristallisation de ces édifices (fig. 44 f,g,h).

(1) Comptage sur 195 quartzites dans la nappe culminante garonnaise de Saint-Thomas.

	I	C-V-Al	K	Inter.g.
Escazeaux (profil 43)				
II BC_2g 150-160 cm	f	M	F	tr
II BC_3g 230-240 cm	m	F	M	
II BC_4g 280-300 cm	M	m	F	
II BC_4g 400-420 cm	M	f	F	
II BCg 780-800 cm	M	M	F	
Belleserre (Garonne)				
II BC_1g 190-200 cm	M	m	F	
II BC_2g 280-300 cm	M	m	F	
II BC_4g 480-500 cm	m	M	F	
Pujaudran (profil 46)				
II BC_1g 200-220 cm	f	M	F	f
II BC_2g 250-270 cm	M	M	M	
Saint-Thomas (Garonne)				
II BC_1g 180-200 cm	F	f	F	tr
II BC_2g 250-280 cm	m	M	F	
Bouloc-Narquières (Tarn)				
II BC_1g 140-160 cm	M	f	F	
II BC_3g 440-460 cm	m	M	F	
Eaunes (cote 308) (Ariège)				
Affleurement de haut versant, 180-200 cm	f	m	F	

Tableau 16 - Cortèges de minéraux argileux dans les alluvions graveleuses des nappes culminantes de l'avant-pays molassique. I : illite ; C-V-Al : minéraux à comportement de chlorite, chlorite secondaire, vermiculite et interstratifiés non gonflants . K : kaolinite , Inter.g. : interstratifiés gonflants. Abondance : F, fort ; M, moyen fort ; m, moyen faible ; f, faible ; tr, traces.

On remarquera en outre que les nappes culminantes se distinguent aussi des hautes terrasses par l'absence de gradient vertical relatif à la composition des stocks de minéraux argileux : du sommet des cailloutis jusqu'aux horizons profonds, en effet, ni l'importance des kaolinites ni leur degré de cristallinité ne varient sensiblement (1).

Tous ces caractères se marquent de façon très générale aussi bien dans les nappes culminantes de la Garonne et de l'Ariège (là tout au moins où l'observation et les prélèvements sont possibles) que dans le matériel qui forme les hautes échines alluviales du Tarn, au-dessus de la terrasse de Fronton. Richesse en argile des matrices, abondance de kaolinites bien cristallisés se retrouvent également, il est vrai, dans de larges secteurs des plateaux de piémont.

4 - Les traits spécifiques des plateaux de piémont.

Du point de vue qui nous préoccupe ici, celui des faciès d'altération, l'étude des plateaux de piémont s'avère beaucoup plus malaisée que celle des terrasses fluviatiles : non seulement les coupes suffisamment profondes y sont rarissimes, mais surtout, les remaniements en constituent la note dominante, au point que la plupart des observations portent sur un matériel qui n'est généralement plus en place. De fait, plus qu'à de véritables plateaux à large surface culminante, les formations de piémont ressortissent dans l'ensemble à de hautes et étroites croupes mamelonnées, ourlées de vallons latéraux. Par ailleurs, les limites, les caractères morphologiques mais aussi les principaux faciès d'altération de ces nappes, sont aujourd'hui relativement bien connus, notamment depuis les travaux de L. GORON (1942), F. TAILLEFER (1951a), C. CARCENAC et al. (1969),

(1) La gibbsite, dont la présence a été signalée dans certains galets cristallins altérés des moyennes et hautes terrasses, ne se retrouve plus dans les nappes culminantes, non plus d'ailleurs que dans le matériel des plateaux de piémont.

J.J. LAGASQUIE (1969 a, b ; 1971). On ne fera donc pas état ici de données réellement nouvelles : simplement nous bornerons-nous à souligner l'ampleur des remaniements et à rappeler les critères majeurs qui permettent de distinguer plusieurs types de formations de piémont entre Ariège et Garonne.

A. Des formations très remaniées.

- L'ampleur du démantèlement des plateaux de piémont n'apparaît nulle part mieux que sur la longue crête qui, de Gantiès à Figarol, domine de plus de 120 m la vallée de la Garonne et prolonge vers le nord-est le Plan d'Estadens. On a évoqué, dans un chapitre antérieur, les épandages limoneux successifs qui, ici, tapissent les versants et empâtent les vallons (fig. 21).

Les profils qui s'y développent ne sont guère très différenciés (profil 49) et leur organisation texturale les apparente bien plus à des sols bruns lessivés qu'à des boulbènes aux horizons très contrastés. Par place, mais assez fréquemment, s'observent les formes classiques de redistribution du fer, bigarrures et tâches rouille ou grises et petites concrétions noires. On a manifestement affaire à des sols relativement jeunes, mais formés dans un matériel complexe (1), le plus souvent vivement coloré et riche en fer, issu pour l'essentiel du remaniement des produits d'altération d'une nappe plus grossière dont la plupart des éléments caillouteux fragiles auraient disparu.

De fait, graviers et galets quartzeux fortement patinés en brun-rouge, sinon cariés et aux fissures tapissées d'une pellicule rougeâtre, quartzites à cortex gréseux et surtout grés quartzites altérés à coeur, souvent brisés, se mêlent généralement aux épandages limoneux. Même au sommet des croupes, là où la topographie est la plus plane, la différenciation texturale des profils n'est pas beaucoup mieux exprimée que sur les versants (profil 48) et les sols

revêtent presque toujours un caractère de jeunesse évident (1). Ici, outre les éléments quartzeux, gréseux ou quartzitiques noyés dans le matériel fin, se montrent par endroit de rares "fantômes" à points blancs et, plus souvent encore, de petits amas blanchâtres riches en quartz, qui rappellent l'existence de galets cristallins aujourd'hui totalement "digérés".

La kaolinite bien cristallisée est abondante dans tous ces manteaux meubles et s'accompagne d'illite, en quantités généralement moins grandes et parfois de minéraux à 10-14 A, presque toujours subordonnés.

- Les conditions favorables à une observation directe des nappes non ou peu perturbées qui forment la substance même des plateaux de piémont, sont rarement réunies : encore a-t-on affaire le plus souvent à des dépôts plus ou moins dérangés, sinon pollués par des épandages limoneux analogues aux précédents. Cela dit, les coupes révèlent des faciès très divers : argile rouge orangée, marmorisée et traversée de bandes ou langues grises gainées d'un liseré rouille, comme entre Lahitère et le Plan, ou bien au sud des Baudis, dans l'ancienne nappe du Salat ; matrice brune ou orangée, relativement homogène, sur les petites échines de Bouche et Biros, à l'est du Salat ou dans les dépôts qui, au sud-ouest de Castelbiague, culminent à près de 500 m au-dessus de l'Arbas (J.J. LAGASQUIE, 1971) ; gangue argilo-limoneuse ocre sur les Plans de Gantiès et d'Estadens...

(1) Sols de touyas et sols noirs humifères hydromorphes et acides, qui abondent sur le Lannemezan et sur les terrasses anciennes des Gaves (P. DUCHAUFOUR, 1953 ; G. CALLOT et al., 1971), n'existent pas sur les plateaux de piémont entre Ariège et Garonne. Ici, en effet, le meilleur drainage, lié au démantèlement avancé des nappes et à l'absence de vastes surfaces aplanies, se combine à une moindre humidité du climat et interdit sans doute l'apparition de ces faciès superficiels.

En fait, si diversifiés soient-ils par leur teneur en particules fines, l'intensité et les formes de redistribution du fer, ou leur degré de remaniement, tous ces dépôts présentent au moins un trait commun : les kaolinites, à cristallinité le plus souvent excellente, abondent dans les cortèges de minéraux argileux.

Il reste que, quantitativement et qualitativement, la charge grossière inclue dans les matrices ou, selon les cas, jonchant les versants ou les aplanissements, est loin d'être partout identique. D'une part, l'observation des éléments glissés sur les pentes ou perchés sur les plateaux, montre une rapide diminution du calibre moyen des blocs et galets, de l'amont, où les plus gros dépassent plusieurs m3, vers l'aval, où les plus grands axes ne dépassent pas 30 cm de longueur (cas de l'ancien tracé du Salat, F. TAILLEFER, 1951a).

D'autre part, dans la masse des formations elles-mêmes, la charge caillouteuse varie considérablement d'un point à l'autre : ici, c'est un véritable lit de galets, épais de 80 cm, qui repose sur une argile orangée à veines grises et revêtements noirs, dénuée d'éléments grossiers, comme on le voit à proximité de Châteauvert, au sud-est de Sainte-Croix ; plus loin, au contraire, c'est l'ensemble de la coupe qui est régulièrement parsemée de blocs et de galets de toutes dimensions, comme au-dessus de l'Arbas (J.J. LAGASQUIE, 1971).

Enfin et surtout, la nature et l'importance respective des différentes espèces pétrographiques résiduelles ne caractérisent pas de la même façon les épandages détritiques de piémont : elles permettent ainsi d'établir une distinction majeure entre deux types de dépôts.

B. Les formations de piémont : deux générations de dépôts.

Beaucoup mieux que leurs profils d'altération, presque toujours très remaniés et difficilement observables, c'est la composition pétrographique des éléments caillouteux qui permet de caractériser les formations de piémont. Depuis les travaux de H. ALIMEN (1964), en effet, l'abondance respective des quartz, des "grès de Lannemezan" (ou grès quartzites, altérés à coeur), et des "quartzites de Lannemezan" (à cortex périphérique gréseux), représente, combinée à la position topographique des aplanissements, l'un des rares critères utilisables pour définir les formations les unes par rapport aux autres.

Ainsi peuvent être distingués d'une part, de hautes surfaces culminantes de piémont, d'autre part, des couloirs d'érosion inscrits de 50 à 100 m en contrebas des précédentes (C. CARCENAC et al., 1969). Sur les premières, les comptages effectués révèlent une écrasante prédominance d'éléments quartzeux, généralement cariés, qui forment de 70 à 95 % du total. La proportion de grés quartzites est toujours supérieure à celle des quartzites à cortex périphérique gréseux, lesquels, associés à divers schistes siliceux et parfois même à de rares résidus cristallins extrêmement délabrés, ne revêtent une certaine importance que lorsque les galets sont encore en place dans leur gangue argileuse : ainsi par exemple sur les croupes relativement bien conservées de Bouche et Biros, sur le plateau des Baudis, ou encore dans le matériel qui, au sud de Valentine, constitue le soubassement du petit plateau de la Plane, lequel, à près de 500 m, domine la Plaine de Rivière (1).

(1) A la Plane, les quartz sont moins nombreux (58,5 %) mais les grés quartzites (23,5 %) sont presque trois fois plus abondants que les quartzites à cortex (8,5 %), le reste (9,5 %) étant constitué essentiellement de schistes siliceux (comptage sur 128 galets).

De même, dans les dépôts culminants qui surplombent l'Arbas, J.J. LAGASQUIE (1971) signale la présence de très nombreux galets grésifiés jusqu'au centre (1).

Emboîtés sous les hautes surfaces du piémont, les couloirs d'érosion, défoncés par les vallées et très inégalement recouverts de matériaux détritiques, se caractérisent en revanche par des cailloutis résiduels à la composition pétrographique fort différente. Les éléments quartzeux sont minoritaires et dépassent à peine 10 % du total, tandis que les quartzites à cortex gréseux et au coeur sain prédominent largement sur les grés quartzites, les premiers étant 2 à 4 fois plus nombreux que les seconds : ainsi en est-il sur les replats qui dominent l'Arize, en amont de Sabarat (C. CARCENAC et al., 1969).

Rappelons enfin que le long du Salat, depuis le bassin de Saint-Girons jusqu'à la hauteur de Salies-du-Salat, les vestiges d'une vaste surface d'érosion, inscrite sous les hauts niveaux du piémont, ont pu être reconnus : quoique drapés le plus souvent de limons remaniés du matériel des croupes culminantes, l'abondance de galets quartzitiques à cortex gréseux rapprocherait ces formations de celles décrites à proximité de l'Arize (J.J. LAGASQUIE, 1969 b, 1971).

(1) Il est vrai que, comme le souligne l'auteur de cette observation, les galets étaient peut-être déjà gréseux à l'origine, le bassin-versant de l'Arbas étant constitué pour une part de formations gréseuses cénomaniennes.

x x

x

Dans toute la seconde partie de ce travail, après avoir examiné les problèmes posés par quelques types de dépôts, on a cherché avant tout à mettre en évidence les données majeures concernant la pédogenèse et l'altération des principales formations du piémont garonnais et ariégeois. Pour plus de commodité , on a regroupé l'essentiel des conclusions précédentes dans les premières pages de la troisième partie : celle-ci sera consacrée tout particulièrement à l'approche stratigraphique et paléoclimatique des faits.

SECTION 1

L'ETABLISSEMENT D'UNE STRATIGRAPHIE QUATERNAIRE REGIONALE

CHAPITRE IX

PREMIERS PROBLEMES DE CORRELATIONS : LE ROLE DES BASSINS D'ALIMENTATION DANS LA PEDOGENESE ET L'ALTERATION

CHAPITRE IX

PREMIERS PROBLEMES DE CORRELATIONS : LE ROLE DES BASSINS D'ALIMENTATION DANS LA PEDOGENESE ET L'ALTERATION

1 - AVANT-PAYS ET BORDURE PYRENEENNE : ELEMENTS DE CORRELATION

L'inventaire des types de sols et des faciès d'altération une fois établi, il nous faut maintenant dégager les principales correspondances entre formations détritiques, quitte à les insérer par la suite dans le schéma chronologique classique de la stratigraphie alpine : en fait, le problème majeur consiste à mettre en rapport les nappes étalées de part et d'autre des cluses. Rappelons-en d'abord les grands éléments, en résumant les données acquises précédemment.

A - Inventaire des nappes

a) Dans l'avant-pays molassique on a pu distinguer cinq générations de dépôts étagés au-dessus des cours d'eau et de leur lit majeur :

- Deux générations de nappes à horizons graveleux non argilisés, pauvres en kaolinite et encore relativement peu rubéfiés :

. Les basses plaines, à sols bruns lessivés dominants et à galets cristallins discrètement altérés au-dessus du front d'altération;

. Les basses terrasses (ainsi que les plateaux de Lavilledieu - Montech et de la basse Boulbonne), à sols lessivés hydromorphes dominants et sols lessivés glossiques subordonnés; dans les graves et au-dessus du front d'altération, environ 50 % des galets cristallins sont clairement fragilisés et plus ou moins rubéfiés, sinon arénisés, dans une matrice sableuse à rubéfaction ménagée.

- Deux générations de nappes à horizons graveleux argilisés, colmatés et rubéfiés, plus ou moins riches en kaolinite mal cristallisée, drapées de sols lessivés hydromorphes et de sols lessivés glossiques :

. Les moyennes terrasses (et la haute Boulbonne), à kaolinite très désordonnée et où tous les galets cristallins sont altérés mais généralement encore nombreux au sommet des profils;

. Les hautes terrasses, à kaolinite un peu mieux organisée et où les galets cristallins sont rares dans la tranche supérieure des profils.

- La génération des nappes culminantes, à horizons graveleux argilisés, colmatés et rubéfiés, riches en kaolinite bien cristallisée et presque totalement dépourvus d'éléments cristallins reconnaissables; les profils superficiels sont comparables aux précédents, mais les sols lessivés glossiques semblent un peu plus fréquents et mieux caractérisés.

b) Sur la bordure pyrénéenne, il faut envisager d'une part, les nappes déposées sous forme de terrasses fluviales ou fluvio-glaciaires, d'autre part, les remblaiements morainiques; enfin, les épandages des plateaux de piémont.

Pour ce qui concerne les terrasses antérieures au stade des lits majeurs à sols bruts et peu évolués, ce sont quatre générations qui ont pu être définies :

- Les nappes à sols bruns modaux ou à sols bruns faiblement lessivés, à éléments caillouteux cristallins généralement assez frais mais souvent discrètement ou inégalement altérés : nappes garonnaises de la Plaine de Rivière et leur prolongement aval vers Boussens, terrasses de Tibiran-Jaunac, Valcabrère, Labroquère; nappes ariégeoises de Foix-Courbet et de Montgaillard, et leur prolongement amont du bassin de Mercus; basses terrasses du Salat et du Ger;

- Les nappes à sols lessivés hydromorphes dominants, à éléments cristallins des horizons caillouteux fortement quoique très inégalement arénisés et rubéfiés, et à matrice non argilisée et pauvre en kaolinite : terrasses garonnaises de Seilhan, de Bentouy, du Château de Barsous; lambeaux de Cier-de-Rivière (partie basse), du Cap de la Côte et d'Espéradès (Labarthe-de-Rivière), terrasse de la Gare de Saint-Gaudens; haute terrasse ariégeoise de Foix-Cadirac; terrasses de Soueich et Saint-Girons - Antichan;

- Les formations à sols lessivés hydromorphes et sols lessivés glossiques, à horizons graveleux argilisés, colmatés et rubéfiés, à kaolinite très désorganisée et où tous les éléments cristallins sont altérés mais encore nombreux au sommet des nappes : terras-

ses de Montréjeau - Saint-Gaudens et de Montespan - Montsaunès; maigres lambeaux du sud de la Plaine de Rivière (notamment celui de la cote - 444, au-dessus de Labarthe-de-Rivière);

- Le lambeau alluvial démantelé qui domine Villeneuve-de-Rivière, à matériel argilo-graveleux très pauvre en éléments cristallins résiduels et à kaolinite mal organisée.

Du point de vue des faciès de pédogénèse et d'altération, deux générations de dépôts morainiques sont reconnaissables :

- La plus récente est manifestement celle des moraines frontales qui occupent le fond des vallées : moraines de la Serre et le Labroquère, sur la Garonne; vallums de Garrabet, Arignac et la Bernière, sur l'Ariège (1). Les profils pédologiques superficiels sont peu différenciés en sols bruns acides et sols bruns modaux; dans les matrices sableuses, l'altération des blocs et galets cristallins reste très discrète dans l'ensemble, quoiqu'une certaine proportion de ces éléments apparaît déjà fragilisée et légèrement rubéfiée;

- La plus ancienne est représentée par les hauts placages morainiques de versant : moraines de Burs, Gourdan, Arrivet et du Couret, sur la Garonne; de Seignaux, Montoulieu, col de Rouy,

---

(1) Rappelons que ni la différenciation des profils, ni le degré d'altération du matériel ne permettent de séparer véritablement les arcs externes (la Serre et Garrabet) des moraines internes (Labroquère, Arignac, la Bernière).

sur l'Ariège, auxquelles on peut rattacher les terrasses d'obturation du Saurat et de la Courbière, au nord-ouest de Tarascon. L'altération des éléments cristallins y est extrêmement irrégulière: aux blocs et galets frais, très abondants, se mêlent des matériaux partiellement ou entièrement arénisés et rubéfiés.

Parmi les épandages de piémont, deux types ont été notés, selon la composition pétrographique des galets résiduels :

- Le premier, qui correspond pour l'essentiel aux hautes croupes culminantes, se caractérise par une large dominance des quartz et une proportion de grès-quartzites supérieure à celle des quartzites à simple cortex périphérique;

- Le second, qui offre des proportions à peu près inverses, ressortit à des couloirs d'érosions emboîtés sous les niveaux précédents.

B - Premières corrélations

a) Moyennes terrasses de l'avant-pays et terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens

D'emblée, une première constatation s'impose : la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens et les niveaux homologues de la bordure nord-pyrénéenne (1) représentent sans aucun doute l'équivalent, à l'amont de la cluse de Boussens, des terrasses

---

(1) Notamment la terrasse de Montespan - Montsaunès et les petits lambeaux les plus élevés du sud de la Plaine de Rivière.

moyennes étalées dans l'avant-pays molassique. Non seulement l'analogie de la différenciation des profils superficiels des limons, mais surtout les faciès d'altération des graves, parfaitement identiques, militent en faveur de ce point de vue.

Parallèlement, le lambeau très délabré qui, au-dessus de Villeneuve-de-Rivière, s'inscrit sous le plateau de Lannemezan, se rattache-t-il probablement et pour les mêmes raisons aux hautes terrasses de l'avant-pays molassique.

b) Moraines et terrasses

Entre un certain nombre de dépôts morainiques et de formations de terrasses, les relations sont relativement claires, sinon évidentes :

- Dans le bassin de Barbazan - Seilhan, les moraines frontales récentes passent latéralement aux dépôts fluvio-glaciaires des terrasses de Valcabrère et Tibiran-Jaunac. De même, le vallum de la Serre, qui barre la cluse de Bazert, est-il à peine postérieur à l'édification de l'épais remblaiement de la Plaine de Rivière, auquel il se relie manifestement. D'une façon analogue, dans la vallée de l'Ariège, les moraines de Garrabet, Arignac et la Bernière se prolongent vers l'aval par les différents niveaux de terrasses de Montgaillard et Foix-Courbet;

- En ce qui concerne les hauts placages morainiques de versant, les relations morphologiques entre terrasses et dépôts glaciaires sont plus difficiles à établir. A tout le moins, cependant, la haute terrasse de Foix-Cadirac, qui surmonte les argiles à varves de Sibian (F. TAILLEFER et al. 1959), peut-elle être rapportée

à un stade d'expansion maximale du glacier ariégeois, dont quelques témoins se retrouvent perchés de part et d'autre de la vallée. Dans la cluse de Tibiran-Jaunac, les placages morainiques du Bois de Gourdan semblent se relier à la haute terrasse de Seilhan.

En somme, on peut considérer que, à l'amont des cluses prépyrénéennes :

- d'une part, les terrasses les plus récentes, à sols bruns modaux et sols bruns faiblement lessivés, dont celles de la Plaine de Rivière et de Foix-Courbet représentent le prototype, sont contemporaines de la dernière poussée glaciaire;

- d'autre part, les dépôts morainiques anciens sont, en première analyse, synchrones des remblaiements de terrasse à sols lessivés hydromorphes et à horizons caillouteux fortement mais inégalement arénisés et rubéfiés, comme ceux de Foix-Cadirac et de la haute terrasse de Seilhan.

C - Avant-pays molassique et bordure pyrénéenne : l'évolution contradictoire des nappes "récentes" (1)

Dans l'avant-pays molassique, deux nappes bien typées (2), celles des basses terrasses et des basses plaines, sont posté-

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Ainsi dénommées par convention, car manifestement postérieures aux terrasses moyennes et à celle de Montréjeau - Saint-Gaudens.

(2) Si l'on néglige la phase des lits majeurs et des atterrissements associés.

rieures aux terrasses moyennes. A l'amont des cluses, et particulièrement dans la vallée de la Garonne, ce sont également deux générations de dépôts, chacune d'entre elles étant synchrone d'une phase glaciaire, qui se sont succédé depuis la construction de la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens : d'une part, celle des formations à horizons caillouteux fortement mais inégalement arénisés et rubéfiés; d'autre part, celle des terrasses plus récentes comme les niveaux de la Plaine de Rivière. Or, on l'a vu, la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens représente incontestablement l'homologue des moyennes terrasses de l'avant-pays. On serait donc fondé à mettre en rapport, de part et d'autres des cluses, en premier lieu, les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure montagneuse, avec les basses terrasses de l'avant-pays; en second lieu, les terrasses plus récentes, du type de celles de la Plaine de Rivière et de Foix-Courbet, avec les basses plaines de l'avant-pays.

Il reste cependant que, du point de vue de la pédogénèse et des faciès d'altération, ce parallélisme semble a priori entâché de contradictions. Les sols des basses plaines de l'avant-pays ne sont-ils pas en effet nettement plus évolués, en règle générale, que ceux qui caractérisent les dépôts de la Plaine de Rivière, les terrasses de Montgaillard et Foix-Courbet et les formations glaciaires auxquelles elles se relient à l'amont (1) ? Au contraire, et malgré une différenciation comparable des profils pédologiques superficiels,

- -

(1) Et ceci, en dépit du fait que la tranche d'eau annuelle moyenne se tient de nos jours entre 800 et 1 000 mm dans les basses vallées montagnardes, contre moins de 700 mm dans l'avant-pays molassique, observation déjà notée du reste par M. ICOLE (1971 a).

les horizons graveleux des basses terrasses de l'avant-pays molassique n'offrent-ils pas des faciès d'altération sensiblement moins poussés que les dépôts de Foix-Cadirac, de la gare de Saint-Gaudens et de leurs homologues ?

En fait, cette contradiction n'est qu'apparente et peut être levée, pour peu que l'on tienne compte de la nature lithologique des terrains encaissants et des bassins d'alimentation.

2 - LES ROCHES-MERES DES PROFILS PEDOLOGIQUES SUPERFICIELS : DEUX GRANDES PROVINCES PETROGRAPHIQUES

A - Des matériaux géochimiquement contrastés

a) Des terrains encaissants de nature différente

A l'aval des cluses, l'omniprésence de la molasse mais aussi, on l'a vu, la similitude des cortèges de minéraux lourds (1), attestent l'origine essentiellement molassique des manteaux limoneux qui tapissent les terrasses alluviales (2).

A l'amont, en revanche les terrains encaissants sont formés, dans une large mesure, par les puissantes assises secondaires à dominante de flysch, de calcaires, de marnes et de schistes crétacés, ainsi que par les massifs anciens cristallins auréolés

- -

(1) Cf. Chapitre III, 2, B.

(2) Il en va de même, assurément, des placages loessiques et des "argiles de coulière" du Terrefort, dont la provenance molassique est évidente.

de leurs bordures sédimentaires métamorphisées. On imagine sans peine que ces formations ont dû fournir une part importante des matériaux constitutifs des nappes détritiques (1).

b) Deux types de roches-mères

D'un domaine pétrographique à l'autre, des profils pédologiques se développent ainsi à partir de formations aux caractères contrastés.

- Dans le premier cas, en effet, la molasse représente une roche détritique, issue de l'altération et du démantèlement des versants pyrénéens au cours du Tertiaire; aussi constitue-t-elle sans aucun doute un matériel déjà "pré-évolué", que l'on peut qualifier de géochimiquement "mûr" (M. ICOLE, 1971 a). De fait, la molasse se révèle particulièrement pauvre en minéraux primaires : elle est formée essentiellement de quartz, toujours très abondant, de minéraux argileux (illites, montmorillonites, chlorites, vermiculites et interstratifiés, avec un peu de kaolinite) et de calcaire en quantités variables. Si les muscovites sont relativement fréquentes, la biotite et les ferromagnésiens n'apparaissent que rarement,

---

(1) Si, pour ce qui est des terrasses, même fluvio-glaciaires, on peut parler d'une couverture meuble de surface, limoneuse ou fréquemment limono-caillouteuse, il n'est évidemment pas possible de distinguer, dans la plupart des cas, un manteau limoneux véritablement individualisé à la surface des dépôts morainiques.

tandis que les feldspaths ne constituent qu'une faible proportion de l'ensemble (1). Ces caractères se retrouvent dans les couvertures limoneuses de l'avant-pays, y compris dans les dépôts des lits majeurs.

- Dans la province pétrographique nord-pyrénéenne, au contraire, schistes, flysch et marnes, arènes granitiques et gneissiques, qui caractérisent largement les terrains encaissants, montrent une quantité importante de minéraux primaires riches en cations métalliques : biotites et silicates ferromagnésiens, notamment, y sont abondants, tandis que la fraction argileuse, au demeurant souvent plus réduite que dans la molasse, se compose essentiellement de minéraux à structure illitique. Ajoutons à cela que, tout au moins dans les nappes et les dépôts glaciaires récents, les galets ou blocs de calcaire dur qui apparaissent çà et là, dispersés dans les profils superficiels, représentent une réserve calcique nettement plus résistante que les carbonates diffus ou poudreux inclus dans la roche molassique. Ces traits se retrouvent également dans les nappes de la Plaine de Rivière, de Foix-Courbet, comme dans les basses terrasses du Ger et du Salat.

B - Niveaux d'inertie pédologique et évolution différentielle des profils superficiels

L'inertie pédologique d'une roche-mère donnée peut se définir simplement : elle correspond au degré de résistance que

- -

(1) Ils représentent en moyenne de 1 à 5 % des grains de sable de taille comprise entre 0,100 et 1 mm.

cette roche-mère oppose aux progrès de la pédogénèse, à savoir notamment : lixiviation des bases et acidification, redistribution des particules fines et des oxydes associés, qui a pour corollaire la différenciation du profil en horizons plus ou moins contrastés. En d'autres termes, elle caractérise la vitesse d'évolution d'un matériel donné : roche-mère inerte à pédogénèse lente; roche-mère à faible inertie et pédogénèse rapide.

Dans cette perspective, deux premiers niveaux d'inertie pédologique se dégagent d'emblée, concernant les couvertures limoneuses ou les matériaux superficiels, à galets ou à blocs, des nappes détritiques les plus récentes :

- Un faible niveau d'inertie initiale, qui, dans l'avant-pays, caractérise les couvertures limoneuses d'origine molassique : dominance de substances géochimiquement inertes dans un matériel relativement homogène où les particules fines sont abondantes;

- Un niveau d'inertie initiale plus élevé, qui correspond aux matériaux étalés à l'amont des cluses : teneur importante en minéraux primaires riches en cations; moindre importance de la fraction fine; charge grossière de galets ou de blocs plus fréquente au sommet des nappes.

Dans les formations issues du remaniement de la molasse, la pédogénèse ne peut être que rapide : calcaire diffus et bases calciques, encore souvent abondants dans les lits majeurs, constituent en effet le seul frein sérieux aux progrès de la pédogenèse.

Une fois les carbonates lessivés (1), l'évolution va s'accentuer et se marquera d'autant mieux que le matériel d'origine molassique, homogène et convenablement pourvu en particules fines régulièrement réparties dans la roche-mère, se prête particulièrement bien à la différenciation des profils : des horizons aux caractères contrastés vont s'organiser, si bien que le stade des sols bruns lessivés sera rapidement atteint dès les basses plaines de l'avant-pays. Çà et là des nuances pourront apparaître, concernant le développement des faciès d'hydromorphie ou l'intensité du lessivage. Mais le stade des sols lessivés hydromorphes ne sera véritablement exprimé dans toute son ampleur qu'à partir des basses terrasses.

A l'amont des cluses, en revanche, entre le stade des lits majeurs à sols peu évolués et celui des terrasses récentes de la Plaine de Rivière ou de Foix-Courbet, à sols bruns modaux ou bruns faiblement lessivés, le contraste pédologique est beaucoup moins vif qu'il ne l'était entre lits majeurs et basses plaines de l'avant-pays. Bien souvent, il est vrai, l'abondance d'éléments grossiers dispersés dans les couvertures limoneuses intervient également pour ralentir la différenciation des profils (2). Ce fait est encore plus nettement apparent sur les formations morainiques récentes à sols bruns acides ou bruns modaux : ici la forte

- -

(1) C'est l'affaire de quelques millénaires tout au plus, sinon de quelques siècles lorsqu'il s'agit de matériaux filtrants à caractères sableux (E. J. SALISBURY, 1925).

(2) De même, dans la Grausse ariégeoise, la moindre différenciation des profils s'explique-t-elle par l'abondance de gros galets dans la couverture limoneuse.

inertie pédologique de départ est renforcée par l'extrême hétérométrie des dépôts (1).

Eu égard à la rapidité d'évolution des matériaux étalés dans l'avant-pays, il existe donc manifestement un "effet-retard" lié à l'inertie élevée des roches-mères de la bordure pyrénéenne. Ceci implique que, dans un même laps de temps, l'évolution pédologique a été moins rapide qu'à l'aval des cluses (fig. 45I) : aussi, les nappes qui, dans les basses vallées montagnardes, se relient aux moraines récentes, peuvent-elles être raccordées sans difficulté aux basses plaines de l'avant-pays molassique.

C - Inertie pédologique des couvertures limoneuses évoluées

Dans un chapitre antérieur, on a déjà évoqué le fait que, dans l'avant-pays molassique, lorsque l'on passe des basses terrasses aux moyennes et hautes terrasses, puis aux nappes culminantes, la différenciation des profils dans les couvertures limoneuses ne progresse pas sensiblement au-delà du stade des sols lessivés hydromorphes. De fait, le degré d'évolution des sols semble traduire beaucoup plus, en règle générale, les conditions locales de

- -

(1) Il existe des cas où l'inertie pédologique peut être entretenue au cours des temps : ainsi, dans les terrasses d'obturation du Saurat et de la Courbière, dont le matériel est, au demeurant, déjà presque partout calcaire (varves et dépôts fluvio-glaciaires), la proximité des versants calcaires dominants (taillés notamment dans les calcaires urgo-aptiens et les marnes albiennes), entraîne probablement l'existence d'apports latéraux carbonatés qui viennent constamment enrichir les terrasses déposées en contrebas.

drainage, que l'ancienneté de la mise en place des nappes : tout au plus constate-t-on, sur les terrasses les plus anciennes, l'accentuation de certains phénomènes comme la redistribution du fer, illustrée notamment par des profils glossiques plus fréquents et mieux exprimés (1).

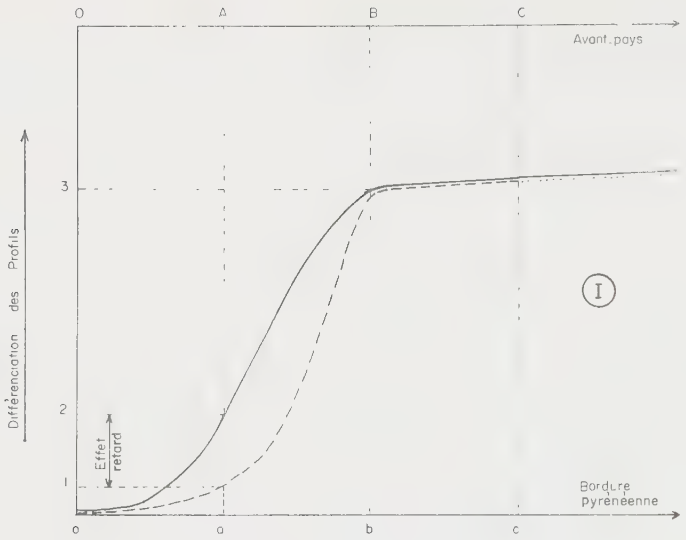
De même, sur la bordure pyrénéenne, l'évolution des limons de la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens n'est guère beaucoup plus poussée que celle qui marque les manteaux superficiels des nappes inégalement rubéfiées et arénisées homologues de la terrasse de la gare de Saint-Gaudens, de Saint-Girons - Antichan et de Foix-Cadirac (2).

En somme, à partir d'un certain degré de différenciation, l'évolution des profils superficiels ne doit plus rien à l'origine pétrographique des roches-mères : tout se passe comme si le "retard" accumulé, lors des premières étapes de la pédogénèse, par les limons à inertie initiale élevée de la bordure pyrénéenne, comme ceux de la Plaine de Rivière par exemple, se trouvait comblé dès le stade des nappes inégalement rubéfiées et arénisées (fig. 45I). En même temps, on peut considérer que le niveau d'inertie pédologique de tous ces limons déjà fortement différenciés remonte très sensiblement et atteint son maximum, puisque, au-delà de ce stade

- -

(1) Et aussi, il est vrai, par des formations ferrugineuses concrétionnées plus courantes et plus puissantes, au contact des horizons graveleux.

(2) A Foix-Cadirac, toutefois, les profils sont plus souvent proches des sols bruns lessivés que des sols lessivés.


O
A
B
C
Avant_pays
Différenciation des Profils
3
2
1
Effet retard
Bordure pyrénéenne
o
a
b
c
I

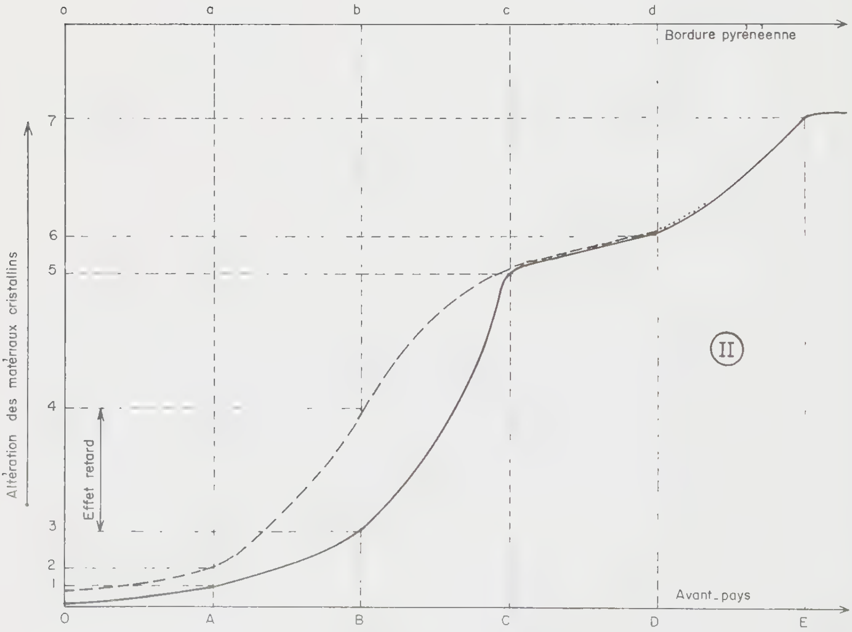

o
a
b
c
d
Bordure pyrénéenne
Altération des matériaux cristallins
7
6
5
4
3
2
1
Effet retard
Avant_pays
O
A
B
C
D
E
II

FIGURE 45

Figure 45 - Pédogénèse et altération différentielle dans l'avant-pays et sur la bordure pyrénéenne

- Avant-pays : - O. Stade des lits majeurs - A. Stade des basses plaines - B. Stade des basses terrasses et niveaux homologues- C. Stade des moyennes terrasses et niveaux homologues - D. Stade des hautes terrasses - E. Stade des nappes culminantes.

- Bordure pyrénéenne : - o. Stade des lits majeurs - a. Stade des moraines récentes et des terrasses qui s'y relient (Plaine de Rivière, terrasses de Montgaillard et Foix-Courbet) - b. Stade des nappes à horizons caillouteux inégalement arénisés et rubéfiés - c. Stade de la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens - d. Stade du lambeau de terrasse dominant Villeneuve-de-Rivière.

I - Evolution différentielle des profils superficiels.
Courbe en trait plein : évolution des profils dans l'avant-pays molassique.
Courbe en trait interrompu et pointillé : évolution des profils sur la bordure pyrénéenne.

- 1. Sols bruns acides, sols bruns modaux, sols bruns faiblement lessivés - 2. Sols bruns lessivés - 3. Sols lessivés hydromorphes et profils apparentés.

Dans l'avant-pays, l'évolution pédologique des couvertures limoneuses est plus rapide que dans les basses vallées montagnardes. Il en résulte, dans ces dernières, une sorte d'effet-retard, qui se traduit, au stade des nappes synchrones des moraines récentes (a), par des sols moins évolués que dans les basses plaines de l'avant-pays (A). Au stade des nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne (b), le retard est comblé : les profils sont de type généralement lessivé hydromorphe, comme sur les basses terrasses de l'avant-pays, et n'évoluent plus guère au-delà sur les niveaux plus anciens.

Figure 45 (suite)

II - Altération différentielle des matériaux cristallins.

Courbe en trait plein : évolution de l'altération des éléments cristallins dans l'avant-pays molassique.
Courbe en trait interrompu ou pointillé : évolution de l'altération des éléments cristallins dans les basses vallées montagnardes.

- 1. Fragilisation et rubéfaction discrètes au-dessus des fronts d'altération - 2. Cristallins fragiles ou arénisés plus fréquents. - 3. Arénisation et rubéfaction modérées au-dessus des fronts d'altération - 4. Fortes mais très inégales arénisation et rubéfaction - 5. Ensemble des cristallins altérés; nappes argilisées, rubéfiées, colmatées, à kaolinites très désorganisées - 6. Ensemble des cristallins altérés; élimination plus ou moins poussée dans la tranche supérieure des alluvions; nappes argilisées, rubéfiées, colmatées, à kaolinites désordonnées - 7. Disparition quasi-complète des cristallins; nappes argilisées, rubéfiées, colmatées, à kaolinites abondantes et bien cristallisées.

Ici, l'effet-retard affecte surtout les matériaux cristallins des basses terrasses de l'avant-pays (B), nettement moins altérés, car initialement sains, que ceux inclus dans les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne (b), riches en éléments cristallins déjà "préparés" à l'origine. Le retard est comblé dès le stade antérieur des moyennes terrasses (C) et de la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens (c). Contrairement aux limons, l'évolution se poursuit sur les niveaux plus anciens, avec une nette progression entre le stade des hautes terrasses (D) et celui des nappes culminantes (E).

et jusqu'à celui des nappes culminantes de l'avant-pays (1), la vitesse d'évolution devient très lente et revêt une allure asymptotique.

On saisit du même coup la différence essentielle qui existe entre la forte inertie pédologique initiale des roches-mères étalées dans les basses vallées montagnardes et le haut niveau d'inertie qui caractérise les limons évolués à sols lessivés hydromorphiques. Dans le premier cas, en effet, on a affaire à une inertie en quelque sorte "conjoncturelle" et fugitive : les réserves (sels, bases, minéraux primaires) assurent à la roche-mère un certain "pouvoir-tampon" initial qui va rapidement s'affaiblir avec le temps, au fur et à mesure que ces réserves s'amenuisent. Dans le second cas, en revanche, l'inertie peut être qualifiée de "structurelle" : l'état d'altération et de réorganisation du matériel est tel que la pédogénèse n'a pratiquement plus aucune prise sur celui-ci, n'était les quelques modifications relativement discrètes évoquées plus haut. Dans cette perspective, on comprend maintenant beaucoup mieux que l'argument, selon lequel la plupart des couvertures limoneuses des terrasses anciennes sont synchrones, puisque pareillement évoluées (N. FEDOROFF et al., 1969), tombe de lui-même (2).

L'évolution pédologique des profils superficiels n'a donc pas partout la même signification chronologique; de plus, au-delà

---

(1) Il n'est pas tenu compte ici des couvertures meubles des plateaux de piémont, fortement remaniées et aux profils généralement rajeunis.

(2) Cf. 2ème Partie, Chapitre III, 2.

d'un certain stade de différenciation qui, on l'a vu, ressortit approximativement aux sols lessivés hydromorphes, sa valeur stratigraphique est pratiquement nulle. De là l'importance décisive des faciès d'altération qu'offrent les nappes caillouteuses et, tout particulièrement, ceux des éléments cristallins qui les constituent.

3 - LA DOUBLE ORIGINE DES MATERIAUX CRISTALLINS

A - L'altération des massifs cristallins nord-pyrénéens

Galets et blocs de nature cristalline jouent, on l'a vu, un rôle majeur dans la détermination du faciès d'altération des nappes caillouteuses. D'une part, en effet, ils représentent, en volume et en nombre d'éléments, une fraction prépondérante du matériel grossier. D'autre part et surtout, leur degré d'altération (ou même, dans certains cas, leur disparition partielle ou totale) fournit généralement un repère simple de comparaison pour juger commodément de l'âge ou de l'évolution des dépôts, contrairement à d'autres espèces pétrographiques, comme le quartz et les quartzites, les schistes ou les grès, dont l'altération, trop faible ou trop irrégulière, ne présente pas de signification précise.

Sur le versant nord-pyrénéen, les éléments cristallins inclus dans les nappes détritiques offrent manifestement une double origine. Non seulement, la Garonne, l'Ariège et certains de leurs affluents majeurs comme le Salat ou le Vicdessos, prennent directement racine dans les hauts massifs de la zone axiale, qui ont dû livrer ainsi une part appréciable du matériel abandonné à l'aval. Mais aussi, les cours d'eau ont eu la possibilité de s'ali-

menter plus ou moins largement dans le domaine des massifs primaires avancés nord-pyrénéens : granites et migmatites de Hourmigué pour la Garonne; gneiss et granulites de Razeceuille avec leur bordure ordovicienne granulitisée pour le Ger-Job; migmatites gneissiques du Castillon pour le Lez; migmatites et gneiss du massif de l'Arize et granites de la Barguillère pour l'Ariège ...

Or, on sait depuis longtemps (P. BIROT, 1937; L. GORON, 1937) que, des Pyrénées audoises au Pays Basque, une part appréciable des manteaux rocheux, éruptifs ou métamorphiques, qui forment la substance des massifs cristallins avancés nord-pyrénéens, offre un état d'altération superficielle notable. A. VATAN (1945), en quête de matériaux meubles d'origine cristalline destinés à l'étude minéralogique, souligne ainsi que, contrairement à la zone axiale, aux pentes fortes et au relief énergique, les massifs avancés, d'altitude plus faible et aux formes passablement émoussées, montrent fréquemment des faciès de roches fragiles, associés à d'abondantes couvertures arénacées. Sur le piémont basque, le socle gneissique du massif de Labourd est altéré sur plusieurs mètres d'épaisseur en un matériel plus ou moins rubéfié, auquel se mêlent des blocs rocheux peu consistants sinon pourris (F. TAILLEFER, 1951 a), caractères du reste assez peu différents de ceux que nous avons pu observer localement dans le petit massif migmatitique de Bessède, à l'ouest de l'Aude.

La mise en creux relative des massifs granitiques de la Barguillère et d'Erp-Soulan, ce dernier modelé en glacis d'érosion, comme le sont d'ailleurs aussi les gneiss plus ou moins altérés qui dominent l'Arbas (J. J. LAGASQUIE, 1968, 1971, 1972), témoigne

également de la sensibilité particulière de ces roches à la décomposition (1).

De la même façon, gneiss et migmatites, qui forment une large part des massifs cristallins de la Barousse, du Castillon et de l'Arize, sont loin de revêtir toujours un aspect parfaitement sain : au sommet des croupes, sur les versants à pente modérée, les coupes montrent, en effet, à côté de roches apparemment dures et fraîches, des faciès déjà fragiles sinon parfois en voie d'arénisation, où les oxydes de fer rouille tapissent les fissures ou imprègnent certaines plages arénacées.

Séquelles d'altération tertiaires (L. GORON, 1937) (2) ou, plus simplement, propension "naturelle" quoique fort inégale de ces roches à se désagréger plus facilement que de coutume (P. VIENNOT, 1927), peut-être sous l'effet combiné d'un climat suffisamment humide et de conditions topographiques plus favorables que celles qui prévalent dans la zone axiale (3) ? Toujours est-il

- -

(1) Sans doute, mise en creux et planation ont-elles été facilitées par cette disposition particulière à l'altération, mais on peut néanmoins penser que, en retour, le façonnement des ces molles topographies ou de ces surfaces aplanies dont certaines, on l'a vu, semblent dater de la phase d'élaboration des plateaux de piémont, aura pu lui aussi favoriser les processus de décomposition des roches.

(2) Ou bien, peut-être, héritage de climats "préglaciaires" plus agressifs que l'actuel (G. VIERS, 1960, 1963, 1966) .

(3) Et probablement liée, au moins en partie, au diaclasage et à la fracturation (M. CASTERAS, 1933; J. J. LAGASQUIE, 1968, 1972).

que cette observation nous semble importante, pour peu qu'on la rapproche des données concernant le faciès d'altération des éléments cristallins inclus dans les nappes détritiques.

B - <u>Les nappes des basses vallées montagnardes : des matériaux cristallins "préparés"</u>

a) <u>Moraines et nappes récentes de la bordure pyrénéenne</u>

Si, comme on l'a déjà noté au cours des chapitres antérieurs, le matériel cristallin des moraines récentes et des terrasses associées offre, dans l'ensemble, une apparence de fraîcheur indéniable, il n'en reste pas moins qu'un certain nombre de blocs ou galets, très variable d'un point à l'autre mais pouvant localement représenter une proportion non négligeable (1), montre des caractères de fragilité, sinon d'arénisation ou de rubéfaction ponctuelle ou diffuse, incontestables : ainsi pour les moraines de la Serre, Labroquère, Garrabet; pour les terrasses de la Plaine de Rivière et de Tibiran-Jaunac; pour les basses terrasses du Salat et celles de Foix-Courbet (2).

- -

(1) Proportion d'éléments nettement fragiles ou en voie d'arénisation sensiblement supérieure, en première analyse, à celles qui s'observe dans les horizons II C B des nappes graveleuses, dans les basses plaines de l'avant-pays.

(2) On a pu également signaler que, même dans le lit majeur de la Garonne, au niveau de la Plaine de Rivière, apparaissent de loin en loin des galets cristallins en voie d'arénisation et traversés de plages rubéfiées, fait extrêmement rare dans les lits majeurs de l'avant-pays molassique (2ème Partie, Chap. IV, 1).

Mieux, il semble même que, dans quelques cas, notamment lorsqu'il s'agit de roches particulièrement sensibles, comme les granites ou les gneiss à deux micas, une brève période d'exposition à l'air libre pourrait suffire pour que certains éléments dégagés de la profondeur des nappes et apparemment "frais" à l'origine, acquièrent en quelques années seulement tous les attributs d'un matériau déjà sensiblement altéré : desquamation périphérique, nette augmentation de friabilité des parties externes et, éventuellement, développement de la "rouille" (1).

Ce sont là, certes, des cas extrêmes, mais qui nous paraissent néanmoins significatifs si on les replace dans la perspective précédente : tout se passe en effet comme si, dans les basses vallées du versant nord-pyrénéen, une part appréciable des matériaux cristallins tirait son origine des massifs primaires avancés où, on l'a vu, les secteurs de roches cristallines plus ou moins fragilisées et altérées occupent des superficies non négligeables. On imagine sans peine que les galets cristallins issus de ces terrains vont offrir des faciès d'altération très divers, à l'image de leurs massifs d'origine : les uns toujours frais et consistants, et alors identiques en cela aux matériaux arrachés à la zone axiale; les au-

- -

(1) Observations qui nous ont été rapportées à plusieurs reprises par des agriculteurs de la Plaine de Rivière. Signalons qu'à Foix, nous avons pu noter, en compagnie de F. TAILLEFER, des phénomènes analogues sur certains granites de la Barguillère, inclus dans les nappes du Courbet.

tres déjà touchés par la décomposition sinon prêts à se transformer en arènes, ce qui implique qu'ils n'ont pu aller fort loin de leur source et que la plupart d'entre-eux n'ont guère dépassé les basses vallées montagnardes. Au contraire, à l'aval des cluses, on peut penser que ce sont pour l'essentiel les éléments les plus sains et les plus résistants qui auront pu supporter les chocs du transport par l'eau et achever leur parcours dans les nappes qui tapissent l'avant-pays molassique. De fait, les bassins d'alimentation de la Garonne et de l'Ariège s'étendent largement dans la zone axiale où, précisément, prédomine le matériel cristallin frais.

b) Les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne

Les mêmes causes produisant les mêmes effets, la nette différence d'altération entre, d'une part, les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne (dont on a vu que certaines se rattachent à des témoins d'un maximum glaciaire) et, d'autre part, les basses terrasses de l'avant-pays molassique, s'explique d'une façon analogue.

Dans l'avant-pays, en effet, les galets cristallins constituant les horizons graveleux des basses terrasses de la Garonne et de l'Ariège, sont formés pour l'essentiel d'éléments issus soit de la zone axiale, soit des massifs primaires avancés, mais qui ne devaient comporter à l'origine que fort peu de ces matériaux "pré-évolués" évoqués ci-dessus. De ce fait, fragilisation, arénisation et rubéfaction des galets cristallins progressent régulièrement avec le temps, depuis le stade des lits majeurs jusqu'à celui des basses terrasses, dans lesquelles ces phénomènes demeurent cependant encore relativement modérés.

Dans les basses vallées montagnardes, en revanche, nombre d'éléments cristallins "préparés" se mêlent aux galets et blocs initialement sains et résistants. Trop peu de temps s'est écoulé, depuis la mise en place des moraines récentes et des terrasses auxquelles elles se relient, pour que l'évolution des matériaux fragiles, à peine ébauchée, se marque autrement que par des faciès locaux de roches plus ou moins arénisées et colorées. Par contre, on comprend que, dans les nappes plus anciennes, aujourd'hui inégalement arénisées et rubéfiées, les processus d'altération ont pu se poursuivre bien plus longtemps : aux côtés de matériaux originellement sains et aujourd'hui encore relativement peu décomposés (1), voisinent ainsi, en proportion très variables, des roches entièrement pourries et rubéfiées (2), noyées dans une matrice grossière elle aussi plus ou moins clairement rubéfiée.

Ainsi, les faciès d'altération qui s'observent dans les hautes terrasses de Seilhan et de Bentouy, sur la Garonne, ou celle

- -

(1) Assez proches, en cela, des faciès qui caractérisent les galets cristallins inclus dans les horizons graveleux des basses terrasses de l'avant-pays.

(2) Matériel qui était peut-être d'autant plus propre, à l'origine, à une décomposition rapide, que la mise en place de ces nappes aujourd'hui riches en éléments arénisés et rubéfiés succède probablement, comme on le verra plus loin, à une longue période de pédogenèse et d'altération, propice à une fragilisation poussée des roches cristallines, tout au moins sur les massifs anciens avancés nord-pyrénéens. On peut également envisager qu'une partie de ce matériel "préparé", inclus dans les nappes inégalement rubéfiées et arénisées, provient du remaniement de formations plus anciennes et plus altérées, homologues de la terrasse de Montréjeau-Saint-Gaudens, par exemple, et qui auraient été largement détruites lors d'un maximum glaciaire.

de Foix-Cadirac, sur l'Ariège, ne représentent-ils, à nos yeux, qu'une variante locale de ceux qui, au-delà des cluses, marquent les horizons graveleux des basses terrasses de l'avant-pays molassique. Certes, comparées à ces dernières, les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne témoignent sans doute d'une évolution apparemment beaucoup plus rapide, au point que ces dépôts revêtent bien souvent un faciès en quelque sorte intermédiaire entre celui des basses terrasses et celui des moyennes terrasses de l'avant-pays (ou de la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens) (fig. 45 II) (1). Mais ces indices ne revêtent pas, pour nous, une signification stratigraphique majeure, puisque arénisation et exsudation des oxydes de fer peuvent se développer relativement vite à partir de matériaux initialement fragiles, lesquels, on l'a vu, devaient abonder dans les basses vallées montagnardes (2). Cependant, l'irrégularité même de la décomposition,

- -

(1) Si l'on établit un parallèle entre l'évolution des profils superficiels et celle des matériaux cristallins, on peut parler d'un "effet-retard" qui, cette fois, affecte les galets inclus dans les basses terrasses de l'avant-pays, initialement peu favorables à une décomposition rapide, phénomène dont la figure 45 II esquisse la représentation graphique.

(2) On peut noter qu'à l'aval immédiat des cluses, notamment près de la Tour-du-Crieu (basse Boulbonne) et aux environs de Martres-Tolosane (terrasse du Château de Martres), les galets franchement arénisés et rubéfiés des nappes graveleuses sont plus fréquents que dans la région toulousaine (10 à 15 % contre 5 à 10%, comptage sur 350 éléments de 6 coupes différentes), comme l'avait déjà relevé G. ASTRE (communication orale), et pourraient avoir la même origine.

- -

la conservation souvent presque parfaite du contour des galets arénisés et, partant, leur médiocre degré d'intégration à la matrice; le caractère toujours sableux de cette dernière (qui a pour corollaire l'absence de phénomènes marqués de redistribution du fer); enfin, la teneur presque toujours très modeste en minéraux kaoliniques, tout sépare clairement ces formations des terrasses moyennes de l'avant-pays et de celle de Montréjeau - Saint-Gaudens (1).

On notera, en dernier lieu, le point suivant : alors que, dès le stade des basses terrasses de l'avant-pays ou celui des nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne, les couvertures limoneuses ne se différencient plus guère avec le temps, les matériaux cristallins, en revanche, poursuivent leur évolution bien au-delà, et cela quelle que soit leur origine, jusqu'à l'étage des nappes culminantes de l'avant-pays ou celui des plateaux de piémont, qui correspondent ainsi à l'altération maximale et à la quasi-disparition des roches cristallines (fig. 45 II). C'est qu'ici, contrairement aux couvertures limoneuses, la réserve en minéraux

---

(1) Certains galets cristallins entièrement arénisés prélevés dans la nappe de Saint-Girons - Antichan par J. J. LAGASQUIE (communication orale), contiendraient de fortes proportions de kaolinite, contrairement aux échantillons que nous avons analysés. Doit-on, pour expliquer cet état de fait, imaginer que ces matériaux kaolinisés ont été repris, encore suffisamment cohérents, à des dépôts plus anciens aujourd'hui disparus, ou que, dans les massifs cristallins eux-mêmes, l'évolution géochimique, tout en respectant un minimum de cohésion de la roche, ait déjà permis localement l'ébauche d'une kaolinisation qui aura pu se développer rapidement après le dépôt de la nappe ? La question reste ouverte : on y reviendra toutefois dans les derniers chapitres de ce travail.

altérables des éléments cristallins reste encore importante (1), même dans les moyennes et hautes terrasses : ce qu'on pourrait qualifier comme l' "inertie d'altération" des matériaux cristallins, n'atteint alors son niveau maximum qu'au stade des nappes culminantes de l'avant-pays. La nature minéralogique des matrices argileuses reflète d'ailleurs cet état de fait : teneur et degré d'organisation des minéraux kaoliniques évoluent de la même façon que l'altération globale des roches cristallines.

c) Les témoins morainiques anciens

Rattacher les niveaux de Seilhan et Bentouy, sur la Garonne, celui de Foix-Cadirac, sur l'Ariège, aux basses terrasses de l'avant-pays molassique, revient évidemment à établir une corrélation analogue entre ces dernières et les hauts placages morainiques de versants, témoins probable d'un maximum glaciaire dont l'un des stades, correspondant au retrait des diffluences du glacier ariégeois, est représenté par les argiles à varves de Sibian et par les dépôts morainiques des terrasses d'obturation glaciaire, dans les bassins de Saurat et la Courbière.

On ne peut toutefois s'étonner que l'altération globale de ces éléments morainiques haut-perchés de part et d'autre de la cluse de Tibiran-Jaunac et sur les pentes qui dominent l'Ariège, demeure nettement moins poussée que celle qui marque les terrasses

- -

(1) Notamment, le réseau feldspathique résiduel qui, dans les hautes et surtout les moyennes terrasses de l'avant-pays, est loin d'être négligeable.

de Seilhan, Bentouy ou Foix-Cadirac. Tout compte fait, ces dépôts ne constituent en effet que de simples formations résiduelles, maigre manteau extrêmement discontinu de blocs ou galets erratiques ou prédominent d'ailleurs les matériaux cristallins résistants (aplites, granulites, migmatites leucocrates) : c'est là un milieu au pédoclimat sec, beaucoup moins favorable à l'altération que les épaisses nappes noyées dans une matrice sableuse où les eaux percolent moins rapidement et plus régulièrement. Cependant, on a vu que, de loin en loin, des éléments de granite ou de gneiss apparaissaient comme presque totalement arénisés et rubéfiés. Quant aux terrasses d'obturation glaciaire du bassin de Tarascon, l'altération des matériaux cristallins, quoique non négligeable par endroit (Bédeilhac; Saurat), est sans doute bien moins vigoureuse que celle qui affecte la nappe de Foix-Cadirac (1) : cela pourrait s'expliquer à la fois par la proximité de la zone axiale, qui aura fourni alors une part importante de matériaux frais et résistants, et par l'abondance (et aussi le renouvellement) du calcaire dans les matrices sableuses, entraînant ainsi la saturation des eaux de percolation et se traduisant par une réduction notable de la vitesse d'altération (2).

- -

(1) Dont les éléments cristallins proviennent, pour une assez large part, du massif granitique de la Barguillère.

(2) Par contre, la terrasse de Quié, où l'on n'a pu observer de faciès véritablement rubéfiés et arénisés, traduit probablement une mise en place nettement plus récente que celle des terrasses de Saurat et Surba, et semble devoir être plutôt rattachée à la phase des moraines récentes.

CHAPITRE X

LES GRANDS ETAGES QUATERNAIRES
DU PIEMONT GARONNAIS ET ARIEGEOIS

CHAPITRE X

LES GRANDS ETAGES QUATERNAIRES
DU PIEMONT GARONNAIS ET ARIEGEOIS

Consacré par l'usage, le système de références issu de la stratigraphie quaternaire alpine est aujourd'hui presque partout adopté, en Europe occidentale tout au moins : on l'utilisera donc dorénavant dans la suite de ce travail. Chronologie relative, certes, mais qui ne revêt pas la même portée, selon que l'on envisage les formations les plus récentes ou les dépôts les plus anciens. Dans le premier cas, en effet, l'évidence aujourd'hui solidement établie de la dernière poussée glaciaire en Europe, le caractère convergent des témoignages morphologiques et sédimentologiques, pédologiques et paléontologiques, parfois authentifiés par des datations radiochronologiques, tous ces indices rendent désormais crédible l'attribution de certaines nappes au Würm et au Postwürm. Pour le reste, en revanche, ce sont seulement les corrélations proposées dans les pages précédentes et les analogies de faciès ou de composition de dépôts qui constituent les points de repère essentiels de la stratigraphie.

Force nous était donc, pour construire un système cohérent, d'utiliser des "jalons" de base suffisamment fiables :

- Pour les formation les plus récentes, les témoins sédimentologiques, pédologiques et, accessoirement, paléontologiques, de l'épisode sec du Würm, ont valeur de repère;
- Pour les formations "anciennes" (c'est-à-dire, conventionnellement, antérieures au stade des basses terrasses de l'avant-pays), on procèdera de façon plus grossière, en comparant certains faciès d'altération des nappes caillouteuses à ceux qui, en d'autres régions où le Quaternaire est déjà sinon parfaitement connu, du moins dûment "étiqueté" (Alpes, Languedoc, Pyrénées centrales), leur sont les plus proches.

1 - LE WÜRM, LES BASSES PLAINES DE L'AVANT-PAYS ET LES MORAINES RECENTES GARONNAISES ET ARIEGEOISES

A - Les sols bruns lessivés : une pédogénèse essentiellement postglaciaire

A elle seule, la nette différenciation des sols développés dans les couvertures limoneuses des basses plaines atteste déjà la relative ancienneté de ces dernières (J. HUBSCHMAN, 1972 b). On sait en effet que le lessivage et la redistribution de l'argile et du fer dans le profil représentent, dans le cas d'une roche-mère limoneuse, un phénomène plutôt lent à l'échelle humaine : sous le climat tempéré de l'Europe moyenne, 8 000 à 10 000 ans, c'est-à-dire pratiquement toute la période postglaciaire, seraient nécessai-

res pour permettre le développement d'un sol brun lessivé caractérisé, sur matériel limoneux (B. MEYER, 1960; P. DUCHAUFOUR, 1968) (1). La mise en place des roches-mères et notamment celle des couvertures limoneuses est donc antérieure et doit être attribuée à la dernière phase glaciaire.

De fait, les rares indices paléontologiques recueillis dans les alluvions graveleuses des basses plaines corroborent parfaitement ce point de vue : faune froide à Cerf élaphe et Elephas primigenius sous Toulouse (Jardin des Plantes); Elephas trogontherii à Palaminy, à l'amont de Cazères (G. ASTRE, 1967) (2).

Les sols bruns lessivés qui, on l'a vu, se développent localement à la surface des placages loessiques, ne témoignent pas d'un degré d'évolution sensiblement différent de celui qui marque les profils des basses plaines : tout porte à croire que le dépôt des loess et l'édification des basses plaines de l'avant-pays datent à peu près de la même époque. Toutefois, l'âge des formations loessiques et, par voie de conséquence, celui des basses plaines, peut être précisé.

- -

(1) Dans le Bassin de Paris, la couverture de loess récent würmien porte effectivement des sols bruns lessivés dont l'évolution est surtout postglaciaire (M. JAMAGNE, 1969).

(2) Il est vrai que ces identifications, effectuées sur des restes fort délabrés (débris de défense à Toulouse; molaire à Palaminy), sont, de l'avis de G. ASTRE lui-même, encore douteuses.

B - Les traces de l'épisode sec du Würm

a) Une seule phase d'éolisation

Dans le Bassin de Paris (F. BORDES, 1951; J. P. LAUTRIDOU, 1968), en Alsace (P. WERNERT, 1957) comme dans la vallée du Rhône (F. BOURDIER, 1961), on a pu reconnaître plusieurs générations de dépôts éoliens que leurs sols intercalaires, leur contenu archéologique ou leur faune, ont permis d'attribuer à différents stades du Würm ou du Riss, sinon du Mindel et parfois même du Villafranchien (gisement de Saint-Vallier dans la vallée du Rhône, J. VIRET, 1954). Au contraire, entre Garonne et Hers mort, tout indique que les limons éoliens ne proviennent que d'une seule et unique phase d'éolisation. Nulle part, en effet, il n'est possible de mettre en évidence des ruptures majeures à l'intérieur des dépôts, ou des horizons pédologiques différenciés, qui traduiraient une rémission sensible de l'activité éolienne favorable à la pédogenèse. Ni les données préhistoriques, pratiquement inconnues, sauf exception (G. ASTRE, 1938 a), ni la faune, au demeurant fort limitée comme on le verra ci-dessous, ne permettent non plus d'établir de coupure véritable dans les formations loessiques : dans le meilleur des cas (placages des talus de terrasses), les seuls discontinuités sont liées aux modalités locales de la sédimentation et illustrent l'influence épisodique du ruissellement. Enfin, d'un point à l'autre, tous les placages loessiques semblent parfaitement synchrones : même fraîcheur des traces de choc sur les grains quartzeux, même degré d'évolution des profils pédologiques superficiels, ressortissant aux sols bruns lessivés.

b) L'âge des loess

Si, dans les loess, la macrofaune est inexistante (1), les populations de Gastéropodes terrestres sont abondantes et ont pu être décrites à plusieurs reprises (J.B. NOULET, 1834; P. FAGOT, 1886; G. ASTRE, 1929, 1952) (2). Ces biocénoses de Mollusques, où nombre d'espèces aujourd'hui très rares, sinon entièrement disparues dans la région, présenteraient des affinités xérophiles ou froides, ont été rapportées par J. J. PUYSSEGUR (in A. CAVAILLE, 1969 b) au Würm supérieur.

De fait, une datation absolue par le radiocarbone, effectuée sur des coquilles de Gastéropodes prélevées vers 3-4 m de profondeur dans le loess de Pompertuzat (vallée de l'Hers mort), a donné un âge de 20 900 ± 570 ans B.P. (J. HUBSCHMAN, 1973) (3).

- -

(1) Cependant, H. ENJALBERT (1960) a pu observer quelques terriers dans le loess toulousain, attribués à un petit rongeur des steppes froides, le Spermophile.

(2) Notamment, d'après G. ASTRE (1952) : Vitrina (Crystallus) pseudohydatina Bourg; Fruticola hispida L.; Helicella striata Müll. var. costatula Ziegl; Clausilia parvula Stud.; Vallonia costata Müll.; Pupilla muscorum L.; Succinea valcourtiana Bourg.

(3) Mesure d'âge établie au laboratoire du radiocarbone du CNRS (Gif-sur-Yvette), grâce à l'amabilité de sa directrice, Mme. G. DELIBRIAS, que nous tenons à remercier ici. La base de calcul est l'année 1950, la mesure ayant été effectuée en 1972.

Si l'on considère, comme l'admettent toutes les estimations actuelles, que la fin de la dernière période glaciaire remonte à environ 10 000 ans B.P. et que l'ensemble du Würm a duré plusieurs dizaines de millénaires (1), on a donc bien la confirmation que, dans le domaine garonnais et ariégeois, les apports de poussières éoliennes datent de la seconde partie du Würm.

c) L'âge des basses plaines

A cette seule et unique phase loessique, force nous est de rattacher l'éolisation de certains secteurs de limons fluviatiles qui, on l'a vu, s'étendent surtout dans la basse plaine à l'aval de Toulouse (2). Remaniées par le vent, ces couvertures limoneuses ont donc été mises en place sinon bien avant l'épisode d'éolisation, du moins et au plus tard, au cours de la même période. Du reste, les associations de Mollusques fossiles qui, à l'aval de Toulouse, caractérisent les limons remaniés par le vent et transformés aujourd'hui en sols bruns lessivés peu acides (3), comprennent bon nombre d'espèces identiques à celles du loess (G. ASTRE, 1927)(4).

- -

(1) De l'ordre de 50 000 ans, si l'on se refère aux données les plus récentes rassemblées par J. CHALINE (1972).

(2) Y compris ceux du palier inférieur du plateau de Lavilledieu - Montech, dont l'âge est identique à celui du reste de la basse plaine stabilisée.

(3) Ce qui explique que, contrairement aux sols bruns lessivés à pH plus acide, les coquilles de Mollusques ont pu se conserver pour une large part jusqu'à nous.

(4) Le fait que des indices d'éolisation marquée ne s'observent que dans les basses plaines (donc, sur les constructions würmiennes) et très rarement sur les terrasses plus élevées et plus anciennes, pose un problème d'interprétation : on tentera d'y répondre dans les derniers chapitres de ce travail, consacrés à l'évolution morphoclimatique de la région au cours du Quaternaire.

Mais d'autres indices permettent encore de préciser les rapports entre les basses plaines et les formations éoliennes. On a montré, en effet, que, dans certains cas (1), les placages loessiques qui, localement, drapent le pied des talus de terrasse, recouvrent indiscutablement les alluvions graveleuses de la basse plaine et passent latéralement aux limons de couverture typiquement fluviatiles de la terrasse. C'est, selon toutes apparences, la preuve incontestable que l'essentiel du remblaiement grossier des basses plaines était déjà achevé alors que s'ébauchait la mise en place des formations loessiques : aussi, rien n'interdit, en première analyse, de rapporter l'édification de la nappe graveleuse des basses plaines à la première partie du Würm. Dans cette perspective, les limons de couverture des basses plaines, légèrement postérieurs, pourraient être rattachés soit à la fin de cette première partie du Würm, soit à la seconde partie du Würm, c'est-à-dire au cours de la phase d'éolisation et de dépôt des loess.

Enfin, on ne saurait négliger la valeur de témoignage offerte par les faciès de ségrégation et de concentration du calcaire qui s'observent dans les loess ou dans les horizons profonds de certains sols bruns lessivés des basses plaines (2). Si les accumulations et les remaniements éoliens dénotent, à n'en pas douter, des conditions bioclimatiques favorables, au moins localement, à l'action du vent, les formes de concrétionnement du calcaire traduisent

- -

(1) 2ème Partie, chapitre III, 2, A, d.

(2) Ainsi d'ailleurs que dans les sols sur molasse argilo-calcaire, qui tapissent les replats dominants du Terrefort, et que l'on évoquera à la fin de ce chapitre.

probablement aussi l'influence d'un climat à longues saisons sèches marquées : poupées et nodules calcaires cristallisés constituent manifestement des caractères reliques de cette période (1).

C - Les moraines récentes : des formations würmiennes

Dans le chapitre précédent, on a présenté les arguments qui permettent d'établir la correspondance entre d'une part, les basses plaines de l'avant-pays, d'autre part, les niveaux de terrasses récentes de la bordure pyrénéenne, lesquels se relient à l'amont, aux constructions morainiques des basses vallées montagnardes. De fait, les moraines récentes de la Serre et Labroquère, sur la Garonne, celles de Garrabet, Arignac et la Bernière, sur l'Ariège, représentent les témoins glaciaires les plus frais de la région et ne peuvent être assimilées qu'à des formations würmiennes (2).

Certes, seules les moraines externes, celles de Garrabet et du vallum de la Serre, marquent l'avancée maximale des langues glaciaires würmiennes : mais, en arrière de ces arcs terminaux, les dépôts de Labroquère, ceux d'Arignac et la Bernière, offrent des faciès d'altération tout à fait comparables à ceux des moraines frontales externes. S'ils sont incontestablement postérieurs à ces dernières, ils ne peuvent en aucun cas être attribués à un épisode glaciaire véritablement indépendant et beaucoup plus ancien.

- -

(1) On discutera ce point de vue ultérieurement (chapitre X, 1,C)

(2) Si l'on excepte, du moins, les épisodes postglaciaires ou subactuels (Néoglaciaire) dont les traces se retrouvent exclusivement dans les cirques et les hautes vallées.

Ils correspondent sans doute soit à une fusion sur place des glaces, comme à Labroquère, soit à de légères réavancées qui seront venues interrompre la récession générale des langues glaciaires (F. TAILLEFER, 1969 b, c).

De la même façon, l'âge würmien des nappes qui se relient à ces moraines récentes ne peut faire de doute. L'aspect polygénique du modelé fluvio-glaciaire qui, à l'aval des moraines externes, marque la Plaine de Rivière comme l'ensemble des terrasses du bassin de Foix, ne doit pas faire illusion : ces multiples niveaux, fréquemment discontinus et qui viennent bien souvent se confondre à l'aval, ont manifestement été découpées par les eaux proglaciaires, lors de la récession des langues, dans une seule et même nappe mise en place au cours du maximum würmien. Il ne peut en être autrement puisque, d'un niveau à l'autre, différenciation des profils et degré d'altération des éléments rocheux sont identiques et témoignent d'une durée et de conditions d'évolution tout à fait comparables.

D - La mise en place postglaciaire des lits majeurs

Sauf à l'aval de Toulouse, où ils se distinguent mal de la basse plaine proprement dite, les lits majeurs ou les plus bas paliers alluviaux qui leur sont associés, sont le plus souvent nettement inscrits sous les basses plaines würmiennes et en contrebas des niveaux récents homologues de la bordure pyrénéenne. Ils portent généralement des sols alluviaux bruts ou légèrement brunifiés, souvent calcaires et n'offrant qu'un très faible degré d'évolution.

Tout indique que ces dépôts ont été mis en place au cours du Post-glaciaire, ou, tout au plus, à l'extrême fin du Würm (ce qui est probablement le cas de limons qui colmatent le fond des bassins glaciaires de Barbazan et Tarascon, et qui représentent sans doute l'ultime épandage lié à la fonte définitive des langues glaciaires würmiennes).

Quelques rares données d'ordre archéologique ou faunistique confirment parfois cette attribution : ainsi, à l'aval de Toulouse, la ballastière de Ginestous a livré des débris de marbre statuaire gallo-romain, recueillis dans l'alluvion graveleuse, sous un mètre environ de limon non évolué légèrement calcaire (G. ASTRE, 1933) (1). Enfin, parmi les Mollusques terrestres déjà fossilisés ou en voie de fossilisation, les espèces qui, aujourd'hui encore, abondent dans la région, sont assez bien représentées dans les lits majeurs, notamment les xérophiles modernes comme Trochula elegans Drap., Helicella neglecta Drap. et Rumina decollata L. (G. ASTRE, 1929, 1952) (2).

- -

(1) A titre de comparaison, signalons qu'en moyenne Garonne, un échantillon de bois, prélevé dans la zone interne de la basse plaine et daté au radiocarbone, a donné un âge d'environ 9 000 ans B.P. (L. RIEUCAU, 1971).

(2) Dès la Plaine de Rivière, les grosses coquilles grises de Trochula, à peine fossilisées, sont particulièrement nombreuses dans les limons alluviaux des lits majeurs, tandis que, sur les niveaux würmiens, elles ne s'observent qu'en surface, dans les 10 à 30 centimètres superficiels du sol.

2 - LES NIVEAUX ANTEWÜRMIENS ET LES ETAPES DE LA STRATIGRAPHIE ALPINE

Parmi les nappes qui, dans l'avant-pays tout au moins, et au-dessus des constructions würmiennes précédemment évoquées, s'étagent le long des cours d'eau jusqu'aux alluvions culminantes, il s'agit de trouver un ou plusieurs niveaux repère, jalons à partir desquels on pourra proposer, pour les autres formations, une place dans la stratigraphie. Deux générations de nappes offrent cette possibilité : celle des terrasses moyennes, d'une part, qui va constituer le pivot majeur du système; celle des nappes culminantes de l'avant-pays, d'autre part, grâce à laquelle épandages des plateaux de piémont et terrasses alluviales postérieures pourront être insérés dans une même échelle chronologique.

A - Le Mindel et les moyennes terrasses de l'avant-pays molassique

Depuis les travaux de A. PENCK et W. BRUCKNER, les premières nappes franchement altérées et rubéfiées qui, dans le piémont alpin, surmontent les niveaux de basses terrasses encore modérément décomposées, sont très généralement attribuées au Mindel (M. LEGER, 1970; M. LEGER et al., 1972). C'est là un faciès comparable à celui du "ferreto" de la plaine du Pô (P. GABERT, 1962), que l'on retrouve avec diverses nuances, dans la vallée du Rhône (F. BOURDIER, 1961; M. BORNAND, 1969; A. BONNET et al., 1970). Plus près de nous, en Languedoc, les premières nappes fortement rubéfiées, argilisées et colmatées sont également rattachées au Mindel de la stratigraphie alpine (J. BARRIERE et al., 1971).

Or, si l'on se tourne maintenant vers le piémont pyrénéen, et en particulier vers l'avant-pays molassique garonnais et ariégeois, il est clair que la première génération de dépôts aux caractères proches de ceux du "ferreto" et immédiatement antérieurs aux basses plaines et basses terrasses à éléments graveleux encore modérément altérés, est représentée par celle des terrasses moyennes.

Certes, dans bien des cas, la rubéfaction n'y est pas aussi développée que dans les nappes mindéliennes du Pô, du Rhône ou des vallées languedociennes, par exemple. Mais il faut bien considérer que, dans ces dernières, la nature du matériel soumis à l'altération est loin d'être identique à celles des remblaiements caillouteux qui constituent les nappes sous-pyrénéennes : les éléments calcaires, en particulier, y tiennent presque toujours une place prépondérante et l'on sait que, précisément, en matière de rubéfaction, les matériaux calcaires durs se décomposent bien souvent, même dans une large gamme de conditions bioclimatiques, en sols ou en résidus de décarbonatation de couleur rouge.

D'autre part, en Languedoc et dans la basse vallée du Rhône, notamment, le climat actuel est un peu plus chaud et plus sec que sur le piémont garonnais et ariégeois : de telles conditions, si l'on admet qu'elles régnaient déjà effectivement dans ces régions, postérieurement à la mise en place des formations mindéliennes, n'auront pu qu'accentuer les processus de rubéfaction (1).

- -

(1) On reviendra, dans un chapitre ultérieur, sur les modalités et la signification de la rubéfaction.

Enfin, les phénomènes d'hydromorphie, en provoquant une intense redistribution du fer au sein des alluvions colmatées, viennent considérablement brouiller le "profil de couleurs" et réduisent d'autant le caractère de rubéfaction globale des nappes, tel qu'il est perçu du moins par l'observateur : en bordure des Pyrénées, ces traits hydromorphes sont déjà nettement apparents dès le stade des terrasses moyennes alors que, dans les régions plus proches de la Méditerranée, ils se manifestent surtout dans les formations les plus anciennes (M. BORNAND, 1969).

Quoiqu'il en soit, si l'on cherche à établir les correspondances entre les nappes quaternaires sous-pyrénéennes, d'une part, et celles, déjà répertoriées, de la périphérie alpine et du Languedoc, d'autre part, il n'est pas d'autre solution que celle qui consiste à faire des terrasses moyennes de l'avant-pays molassique, en particulier, l'équivalent du Mindel alpin (1).

Cette même démarche avait déjà conduit H. ALIMEN (1964) à attribuer au Mindel certains niveaux de terrasses de la

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Rappelons que, jusqu'à présent, l'attribution de ces moyennes terrasses au Riss était fondée sur le façonnement anthropique des galets de quartzites recueillis en surface, lequel n'a pas été jugé antérieur à l'Acheuléen (A. CAVAILLE, 1969 a et notices des feuilles au 50 000° de la carte géologique couvrant l'avant-pays molassique).

région des Gaves, notamment celui du Pont-Long, sur le Gave de Pau. De la même façon, la terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens et celle de Montespan - Montsaunès, les maigres lambeaux à horizons graveleux rubéfiés, argilisés et colmatés qui, au sud de la Plaine de Rivière, dominent quelques résidus de nappes inégalement arénisées et rubéfiées, toutes ces formations sont également à rapporter à la phase mindélienne.

Partout ailleurs, entre Ariège et Garonne et à l'amont des chaînons du Plantaurel et des Petites Pyrénées, les dépôts alluviaux homologues du Mindel ne peuvent être véritablement identifiés (1), soit qu'ils n'aient jamais existé, soit, comme il est plus probable, qu'ils aient été détruits lors d'épisodes morphoclimatiques postérieurs ou que, dans certains secteurs, s'y soient substitués de simples niveaux d'érosion très inégalement recouverts. Ainsi, par exemple, au-dessus de la terrasse de Soueich et dominant la plaine würmienne du Ger de 40 à 50 m, la surface très dégradée et ondulée qui porte Feuillerat, taillée dans les marnes schisteuses cénomaniennes, montre une couverture discontinue et souvent très peu épaisse de matériel argilo-caillouteux : on y observe, par place, des éléments granitiques ou gneissiques très altérés, rubéfiés et argilisés, et dont la gangue périphérique fine est riche en minéraux kaoliniques fort médiocrement cristallisés. Ce pourrait être là des niveaux homologues de certains replats d'érosion et glacis en roche tendre décrits dans la région du Mas-d'Azil, le long de l'Arize, et rapportés au Quaternaire moyen (C. CARCENAC et al., 1969).

- -

(1) Sauf exceptions comme, par exemple le long du Salat, et à l'amont de la confluence avec la Garonne, les lambeaux alluviaux de Touille et de Tarté, qui dominent les plaines würmiennes d'une cinquantaine de mètres.

B - Les basses terrasses de l'avant-pays molassique : Riss ou "Würm ancien" ?

Dans l'avant-pays molassique, entre les terrasses moyennes et les basses plaines, s'intercale un niveau alluvial régulier et relativement continu, celui des basses terrasses. De la même façon qu'elles assignaient, abusivement à nos yeux, un âge rissien aux terrasses moyennes, les trouvailles préhistoriques, guère plus anciennes que le Moustérien, n'autorisaient jusqu'à présent qu'une attribution des basses terrasses à un "Würm ancien" (A. CAVAILLE, 1969 a) (1), les basses plaines étant alors considérées comme postwürmiennes dans leur ensemble ou, à la rigueur, fini-würmiennes, pour ce qui est du moins de leurs paliers les plus élevés.

Certes, les épandages limoneux qui, dans l'avant-pays, achèvent la phase de construction des basses plaines, peuvent effectivement, pour une large part, être rapportés à un Würm tardif. Mais, on l'a montré, l'essentiel du remblaiement grossier de ces basses plaines était déjà en place à cette époque et nous l'avons interprété comme un dépôt remontant à la première partie du Würm et lié à la progression des glaciers würmiens. En fait, si

(1) Aucun argument paléontologique n'a pu cependant être avancé pour étayer cette attribution, l'acidité du milieu interdisant la conservation des ossements dans les basses terrasses.

l'on veut à tout prix prendre en considération l'existence d'un "Würm ancien" dans l'avant-pays molassique, tout semble indiquer que les alluvions graveleuses des basses plaines en représentent la majeure partie, de la même façon que, dans les basses vallées montagnardes de la Garonne et de l'Ariège, les nappes de la Plaine de Rivière, de Foix-Courbet et de Montgaillard, constituent les premières manifestations fluvio-glaciaires de la période froide würmienne.

D'autre part, si l'on veut bien admettre que la valeur stratigraphique des faciès d'altération est supérieure à celle, plus conjecturale, des trouvailles préhistoriques, l'attribution des terrasses moyennes au Mindel ne fait plus guère de doute : aussi, entre ce Mindel bien typé et le Würm "global" des basses plaines, il n'y a place que pour un seul et unique étage de la stratigraphie alpine : le Riss. Peut-il en être autrement, alors que, presque partout en Europe froide et tempérée, les preuves de l'existence d'une période glaciaire rissienne sont aujourd'hui nombreuses et solidement fondées ? On voit mal, en tout cas, pourquoi une génération de nappes comme celle des basses terrasses de l'avant-pays, aussi clairement caractérisée par sa régularité et son extension, par ses sols et ses faciès d'altération, lesquels diffèrent notablement de ceux des basses plaines würmiennes, devrait être rapportée à un épisode relativement mineur et aux contours mal définis, comme le Würm ancien. Au contraire, la brusque transformation des faciès d'altération entre ces basses terrasses et les moyennes terrasses mindéliennes, la régularité du talus à fort commandement qui, le plus souvent, sépare ces deux niveaux, tout porte à croire que l'édification des basses terrasses remonte au Riss et qu'elle

succède à la longue période connue, dans la stratigraphie alpine, sous le nom de "grand interglaciaire Mindel-Riss".

Il reste enfin que cette attribution au Riss des basses terrasses de l'avant-pays semble d'autant plus crédible que, comme on l'a vu antérieurement, ces formations représentent l'équivalent, à l'aval des cluses, des nappes inégalement arénisées et rubéfiées des basses vallées montagnardes : or, certaines d'entre elles, précisément, témoignent apparemment d'une phase glaciaire indépendante et bien antérieure à l'avancée des glaces würmiennes.

C - Indépendance d'une phase glaciaire ancienne, rissienne

Dans les basses vallées montagnardes de la Garonne et de l'Ariège, placages morainiques des hauteurs et terrasses d'obturation glaciaire des vallées latérales sont la preuve manifeste d'une avancée et d'une épaisseur des langues glaciaires nettement plus importantes que lors de la phase des moraines frontales würmiennes.

Ceci est particulièrement clair le long de l'Ariège : si l'on reprend la terminologie proposée par P. BARRERE (1963, 1969), le glacier du stade d'expansion maximum du Pléniglaciaire, dont témoignent les dépôts haut perchés sur les versants entre Tarascon et Foix, offrait une extension bien supérieure à celui de la phase de disjonction würmienne, dont les moraines de Garrabet dessinent précisément la limite externe atteinte par la glace (1). La langue

---

(1) A la latitude de Mercus, la section du glacier würmien n'aurait représenté que la 26° partie de celle du glacier de la phase d'expansion maximum (F. TAILLEFER, 1973).

glaciaire du stade d'expansion maximum s'avançait jusqu'à 15 km à l'aval de Garrabet, si l'on en juge par les blocs morainiques retrouvés par F. TAILLEFER (1973) dans la cluse de Labarre. Légèrement postérieur, le stade de stationnement, attesté par les dépôts lacustres d'obturation glaciaire (Arget, Saurat, Surba), précède sans doute de peu la mise en place du matériel fluvio-glaciaire de la terrasse de Foix-Cadirac-Vernajoul.

Sur la Garonne, le contraste est certes moins vif entre l'avancée et l'épaisseur de la langue pléniglaciaire et celles de la phase de disjonction, probablement en raison d'un relief beaucoup plus aéré et morcelé que dans la vallée de l'Ariège et, de ce fait, favorable à une rapide fusion des glaces. Mais l'altitude à laquelle s'observent les placages morainiques abandonnés sur les versants de part et d'autre du bassin de Barbazan et de la cluse de Tibiran, à plus de 100 m au-dessus de l'arc de la Serre, dénote là aussi une largeur et une puissance de la langue pléniglaciaire, nettement plus importantes que lors de la phase de disjonction würmienne. On a vu, à ce propos, que, dans la cluse de Tibiran - Jaunac, les éléments de terrasses fluvio-glaciaires de Seilhan, du château de Barsous et de Bentouy, pouvaient être rapportés sinon au stade d'expansion maximale lui-même, marqué par les placages morainiques des hauteurs, du moins à un épisode probablement légèrement postérieur, correspondant sans doute à une première contraction et à une fusion partielle du glacier.

De la même façon que, dans l'avant-pays molassique, les basses terrasses étaient attribuées à un "Würm ancien", doit-on aussi considérer que le Pléniglaciaire ne représente que la première

étape d'une seule et unique période glaciaire, dont les vallums de la phase de disjonction marqueraient les stades ultimes (1) ? Ou bien faut-il, au contraire, regarder les dépôts de l'expansion maximum comme les formations corrélatives d'une phase glaciaire véritablement indépendante et nettement plus ancienne que l'épisode des arcs morainiques et des nappes fluvio-glaciaires associées qui tapissent les fonds de vallées ?

A elle seule, la très inégale importance de ces deux épisodes milite déjà en faveur de la thèse de deux phases glaciaires nettement distinctes l'une de l'autre. D'une part, comme l'a souligné F. TAILLEFER (1973), la glaciation récente de l'Ariège offre tous les caractères d'un cycle glaciaire complet comportant un stade de progression (terrasse de Foix-Courbet et de Montgaillard) et un stade de stationnement (Garrabet) ; comme on le sait, le Pléniglaciaire présente également cette même succession, bien qu'on ne puisse retrouver aujourd'hui aucune trace d'arcs morainiques frontaux dans la vallée de l'Ariège, ce que la configuration du relief et notamment l'étroitesse de la cluse de Foix, peuvent aisément expliquer.

A cette présomption, essentiellement morphologique, de deux phases glaciaires indépendantes, l'étude des faciès d'altération

---

(1) C'est là, en particulier, la thèse des monoglacialistes, notamment G. VIERS (1963, 1966, 1969).

apporte un renfort certain. Quoique très irrégulièrement altérés en raison même de la diversité et de la provenance du matériel, de leur degré de démantèlement ou de leur situation peu favorable à la décomposition des roches, les dépôts du Pléniglaciaire, on l'a vu, diffèrent cependant déjà notablement des formations würmiennes accumulées au fond des vallées.

Mais ce sont surtout les nappes fluvio-glaciaires associées, comme celles de Foix-Cadirac et de Seilhan, plus épaisses et mieux conservées que les placages proprement morainiques, qui montrent des faciès d'altération beaucoup plus développés que ceux des formations würmiennes. Même en tenant compte de la facilité avec laquelle une part importante des matériaux cristallins déposés dans les basses vallées montagnardes acquiert des caractères d'arénisation ou de rubéfaction poussés, il est difficile d'assigner à ces nappes un âge à peine plus ancien que celui des moraines récentes et des terrasses qui s'y rattachent, aux sols et aux profils d'altération encore peu différenciés. Au contraire, leur net degré d'évolution implique à coup sûr une durée d'exposition à l'air et aux intempéries suffisamment longue, trait qui évoque beaucoup plus une véritable période interglaciaire qu'un simple interstade ancien du Würm.

La conclusion semble s'imposer d'elle-même à l'esprit : la phase pléniglaciaire ariégeoise et garonnaise représente très probablement l'équivalent du Riss alpin. Les dépôts morainiques du stade d'expansion maximum ne subsistent plus que sous la forme de rares et maigres placages de versants, tandis qu'à l'amont des cluses, ce sont seulement quelques rares éléments de terras-

ses, au matériel inégalement arénisé et rubéfié, qui ont pu échapper à une destruction massive, consécutive d'abord à la fusion généralisée des glaces rissiennes, ensuite au décapage lié à la mise en place des nappes würmiennes, lors de la phase de disjonction. Dans l'avant-pays molassique et à l'aval des cluses, en revanche, les constructions alluviales rissiennes des basses terrasses, de la basse Boulbonne et du plateau de Lavilledieu-Montech, éloignées des fronts glaciaires, ont été en grande partie épargnées : leur régularité et leur étendue attestent précisément l'importance de la progression glaciaire rissienne.

D - Les formations antémindéliennes et le repère des nappes culminantes de l'avant-pays

a) Plateaux de piémont et nappes alluviales culminantes de l'avant-pays

Les nappes culminantes de l'avant-pays molassique présentent un certain nombre de points communs avec les épandages des plateaux de piémont : abondance de minéraux kaoliniques bien cristallisés et disparition quasi-complète des éléments cristallins, notamment. Toutefois, on a vu que le degré d'altération des quartzites et, plus encore, le rapport entre quartz et quartzites à cortex gréseux ou grès-quartzites résiduels, permettaient de distinguer de façon assez claire deux générations d'épandages de piémont. De fait, les nappes culminantes de l'avant-pays offrent, à cet égard, des caractères pétrographiques relativement proches de ceux qui s'observent sur les couloirs d'érosion irrégulièrement recouverts d'alluvions et inscrits sous les plus hautes croupes du piémont construit, entre Ariège et Garonne.

Or, H. ALIMEN (1964) suivie par M. ICOLE (1969 a, 1973), ont mis en évidence l'existence d'une génération de dépôts qui achèvent manifestement la construction des grands cônes de piémont étalés au pied des Pyrénées occidentales, et dont le plateau de Lannemezan représente le prototype. Il s'agit là de formations d'épaisseur variable (de 15 à 20 m le plus souvent), qui ravinent les terrains plus anciens dans lesquels elles s'encaissent de plus en plus nettement de l'amont vers l'aval, sous forme de chenaux et de larges vallons eux-mêmes profondément entaillés par les vallées des rivières locales. Les caractères sédimentologiques de cette "formation supérieure de Lannemezan" (1) semblent, il est vrai, bien mal définies. Dans une première approche, en effet, on a pu considérer que ces dépôts offraient un faciès nettement plus fluviatile que celui de la nappe principale qu'ils ravinent. Plus récemment, au contraire, M. ICOLE (1973) les décrit comme des formations médiocrement calibrées et très hétérométriques et leur assigne alors une extension beaucoup plus large que dans le schéma de H. ALIMEN, au point que la "formation supérieure de Lannemezan" constituerait à elle seule la majeure partie de la couverture des plateaux de piémont, à l'ouest de la Neste-Garonne.

La distinction entre l'épandage principal des plateaux de piémont("formation inférieure de Lannemezan" de H. ALIMEN et M. ICOLE) et cette génération de dépôts plus récents n'est donc guère

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) "Formation supérieure de Lannemezan", dans l'acception de H. ALIMEN et M. ICOLE, et non pas au sens défini par J. PATIN (1966), qui qualifie ainsi l'ensemble des dépôts postérieurs au Pontien.

aisée à établir en tout point. Il n'en reste pas moins, comme nous avons pu le noter sur le plateau de Lannemezan (1), que là où elles s'observent le plus clairement, c'est-à-dire dans les larges ensellements qui échancrent la surface du cône, ces nappes offrent une composition pétrographique différente de celle des croupes culminantes et témoignent ainsi à coup sûr d'un épisode de défoncement puis de remblaiement, postérieur à la mise en place de l'épandage principal.

Précisément, dans ces dépôts de la "formation supérieure de Lannemezan", attribués au Donau par H. ALIMEN, les proportions d'espèces pétrographiques résiduelles et le degré d'altération de ces dernières, sont très comparables à ceux des épandages discontinus qui tapissent les couloirs d'érosion du piémont, entre Ariège et Garonne, comme à ceux des nappes culminantes de l'avant-pays molassique : nette dominance des quartzites et grès-quartzites par rapport aux éléments quartzeux et faible pourcentage des grès-quartzites par rapport aux quartzites à cortex gréseux. Sur les croupes sommitales du plateau de Lannemezan et du piémont garonnais et ariégeois, en revanche, ces proportions sont inversées (2).

Si l'on accepte et cette attribution de la "formation supérieure de Lannemezan" à un Donau, et la corrélation précédente

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) En compagnie de M. ICOLE et F. TAILLEFER.

(2) Cf. 2ème Partie, Chapitre VIII. Sur le plateau de Lannemezan, les proportions respectives de quartz, d'une part, quartzites et grès-quartzites, d'autre part, dans l'une et l'autre formation, sont beaucoup plus variables et, de ce fait, moins significatives, que sur les niveaux de piémont entre Garonne et Ariège.

entre cette dernière et les dépôts de composition pétrographique analogue du domaine garonnais et ariégeois, ont est conduit à définir un étage Donau qui se présente sous deux grands faciès

- à l'amont des chaînons prépyrénéens, des couloirs d'érosion inégalement couverts, inscrits sous les croupes sommitales du piémont entre Ariège et Garonne;

- dans l'avant-pays molassique, les nappes alluviales culminantes de la Garonne et de l'Ariège, qui se poursuivent loin vers l'aval et, pour la Garonne, jusqu'au littoral atlantique.

Quant aux puissants épandages argilo-caillouteux qui forment l'ossature même des plateaux de piémont et affleurent sur les croupes culminantes entre Ariège et Garonne comme sur le plateau de Lannemezan, leur attribution pose le problème général de la limite Tertiaire-Quaternaire dans la région. Faute de données véritablement nouvelles, on ne peut que se ranger à l'interprétation classique d'une mise en place pliocène de ces formations. Toutefois, cette question sera reprise ultérieurement dans les dernières pages de ce travail, relatives à l'évolution morphoclimatique du piémont garonnais et ariégeois depuis le Néogène.

b) Les hautes terrasses de l'avant-pays

Entre le Donau des nappes culminantes et le Mindel des terrasses moyennes, les hautes terrasses de la Garonne et de l'Ariège présentent, on l'a vu, un certain nombre de traits spécifiques. Leurs horizons argilo-graveleux se différencient très clairement de ceux des nappes culminantes, notamment par le degré

d'altération des éléments cristallins et la nature des minéraux argileux. Ils sont, en revanche, beaucoup plus proches, par ces caractères, de ceux des terrasses mindéliennes.

De la même façon que H. ALIMEN (1964), pour le piémont des Pyrénées occidentales, on pourra trouver commode d'attribuer ces niveaux intermédiaires entre le Donau, première nappe alluviale de l'avant-pays, et le Mindel des terrasses moyennes, au Günz de la stratigraphie alpine, auquel il est également possible de rattacher le lambeau très délabré de Villeneuve-de-Rivière, seul témoin notable, à l'amont des cluses, de cette phase de remblaiement. Mais on retiendra surtout qu'entre un Donau bien typé et un Riss beaucoup moins nettement altéré, Mindel et Günz, tels qu'ils sont définis ici, forment un ensemble relativement homogène où, d'une phase à l'autre, l'évolution des dépôts reste modérée. A la forte discontinuité, maintes fois soulignée ici, qui se manifeste entre les faciès d'altération du Riss et du Mindel, répond ainsi le changement majeur constaté entre l'évolution des dépôts du Günz et ceux du Donau, également observé dans les nappes anciennes de la Garonne bordelaise (C. LATOUCHE, 1971) (1). Nous tenterons précisément de dégager dans un chapitre ultérieur, la signification de ces deux grandes "coupures" dans l'évolution des dépôts quaternaires.

---

(1) Nappes désignées, dans cette région et par cet auteur, par leurs symboles géologiques respectifs p et a_{1a}, qui correspondent très vraisemblablement au Donau et au Günz définis ici (cf. chapitre XI).

3 - LE REMODELAGE RECENT DU TERREFORT MOLASSIQUE

Le long des grands couloirs alluviaux de l'avant-pays molassique, l'étagement de cinq niveaux principaux de terrasses, depuis le Donau jusqu'au Würm des basses plaines, constitue le trait dominant du modelé. A cette relative simplicité du dispositif morphologique alluvial, les interfluves molassiques opposent, en revanche, un modelé de dissection beaucoup plus complexe, issu, pour l'essentiel, de l'affouillement d'un dense réseau hydrographique. Cependant, on a vu que, dans de larges secteurs du Terrefort molassique, et notamment dans le Lauragais toulousain, le modelé s'organise autour de deux caractères majeurs (1)

- un système d'éléments de plateau, plus ou moins bien conservés et fréquemment dédoublés en replats supérieurs et replats inférieurs;
- des vallons souvent dissymétriques, à versants longs drapés de colluvions et versants raides taillés dans la molasse.

A - Les aplanissements du Terrefort : un façonnement récent

L'existence des aplanissements supérieurs, qui rythment la topographie du Terrefort, a été diversement interprétée selon les auteurs. Certains en ont fait l'équivalent de la surface néogène définie dans le Terrefort tarnais (G. ASTRE, 1953 b). Pour R. BRUNET

- -

(1) Cf. 1ère Partie, Chapitre II, 1.

(1965), ces aplanissements pourraient être contemporains des "glacis" du Pliocène ou du Quaternaire ancien auxquels H. ENJALBERT assimile les hauts niveaux garonnais et ariégeois : dans notre stratigraphie, ils seraient alors homologues de la nappe culminante du Donau. A. CAVAILLE (1969 b), se fondant sur la présence de certains affleurements de quartz rougis sur les replats supérieurs, y voit les traces d'un aplanissement pliocène. La différence d'altitude que l'on observe actuellement entre les plus hautes nappes alluviales garonnaises et ariégeoises (310 m environ à l'ouest de Toulouse - Pujaudran - et au sud de Muret), et les replats supérieurs de la molasse (environ 260-270 m de part et d'autre de la Save, au droit de Toulouse, et dans le Lauragais toulousain), a pu être attribuée par H. ENJALBERT (1960) à un affaissement par flexures et gauchissements récents : le balcon relativement continu que forme, depuis le Bas-Comminges jusqu'à la Lomagne, la nappe culminante garonnaise au-dessus de la Gascogne gersoise, n'aurait pas d'autre origine.

Ces niveaux supérieurs de la molasse sont donc généralement considérés comme des témoins de surfaces anciennes que l'érosion quaternaire aurait réduites en lambeaux. Et il est vrai que, dans le Terrefort molassique et dans le Lauragais en particulier, volumes en relief des coteaux façonnés en replats ou en simples croupes arrondies, et volumes en creux où s'inscrivent versants et vallons, représentent, pour l'essentiel, une disposition héritée de périodes anciennes. De fait, 20 ou 30 m en contrebas des éléments de plateau culminants, les replats inférieurs suggèrent l'existence de larges fonds de vallées, aujourd'hui perchés et entaillés par les ruisseaux.

On pourrait être tenté de mettre en rapport ces niveaux d'aplanissement du Terrefort avec l'une ou l'autre des phases quaternaires définies par les nappes alluviales garonnaises et ariégeoises. Ainsi, d'un point de vue strictement morphologique, et si l'on considère que l'épisode principal d'enfoncement des ruisseaux est postérieur au façonnement des replats inférieurs, tout semblerait indiquer que la formation de ces derniers remonte à une période déjà ancienne du Quaternaire, au moins mindélienne par exemple, les replats culminants représentant alors un stade antérieur, günzien sinon danubien.

Il reste cependant que replacer avec précision la morphogénèse ancienne du Terrefort dans le cadre stratigraphique du Quaternaire, constitue une entreprise hasardeuse. C'est qu'ici, en effet, l'érosion qui s'est exercée depuis le début du Pléistocène a manifestement modifié, dans une large mesure, le modelé ancien établi dans la roche tendre molassique. Ce sont précisément des phénomènes de cette échelle que traduit l'évolution des sols développés sur les aplanissements du Terrefort : elle permet à la fois d'apprécier l'ampleur du remaniement et de dater le dernier façonnement effectif des niveaux d'érosion de la molasse.

a) Les sols de plateau : des sols encore jeunes

Si l'on regroupe les données issues de l'étude pédologique des aplanissements du Terrefort, on peut en dégager deux éléments marquants (1) :

---

(1) Cf. 2ème Partie, Chapitre VI, 2.

- les sols développés sur les replats offrent sans aucun doute les profils les plus différenciés qui s'observent dans le Terrefort. Ces "boulbènes de plateau" correspondent généralement en effet à des sols bruns lessivés, alors que, partout ailleurs, on a affaire à des sols calcimagnésiques faiblement différenciés;

- mais ces profils sont ceux de sols encore jeunes : en témoignent à la fois leur profondeur modérée (100 à 150 cm), et, surtout, leurs caractères chimiques (pH faiblement acide, complexe absorbant souvent proche de la saturation) et la séquence évolutive des minéraux argileux. Ils représentent, somme toute, un matériel encore relativement peu différencié par rapport à la roche-mère molassique. Précisément, pour observer la molasse stampienne vigoureusement altérée in situ, il faut se transporter non loin de là, par exemple sur les basses terrasses rissiennes de la Garonne. Là, en effet, l'alluvion rissienne offre très localement une puissance modérée, de l'ordre de 2 à 3 mètres : ainsi en est-il à proximité de Cugnaux ou, sur le plateau de confluence de Lavilledieu, près de Montech. Aussi, le front d'altération qui, on s'en souvient, atteint généralement 4 à 5 m de profondeur dans les formations rissiennes, pénètre-t-il notablement dans le matériau molassique. Celui-ci montre alors des pH nettement acides (5,5 à 6), un complexe absorbant plus ou moins clairement désaturé (taux de saturation variable de 40 à 80 %). En outre, la montmorillonite, encore relativement abondante dans les sols des replats molassiques, a ici totalement disparu du stock des minéraux argileux; on la retrouve, en revanche, au-dessous du front d'altération, dans le matériel molassique calcaire. Le contraste est donc éclatant entre cette molasse altérée depuis le Riss et les profils déve-

loppés sur les aplanissements du Terrefort. Il n'est guère possible d'imaginer non plus que ceux-ci aient pu s'établir dans un "éluvium" ancien de la molasse : dans cette hypothèse, le cortège des minéraux argileux et, notamment, l'absence complète de montmorillonite, en fournirait immédiatement la preuve, ce qui n'est pas le cas.

Les sols de plateau du Terrefort, et par voie de conséquence, les replats qui les portent sont donc de formation récente: ceux-ci ne peuvent, en aucun cas, être assimilés à des vestiges de surfaces pliocène ou quaternaire ancienne. De ces derniers, ils ont certes probablement hérité le dessin général et surtout le caractère de niveaux dominants; ils n'en ont toutefois conservé ni l'altitude ni, a fortiori, le matériel de surface (1).

Tout ceci nous porte à croire que le décalage altimétrique, précédemment évoqué, entre les nappes culminantes garonnaises et ariégeoises et les aplanissements du Terrefort, n'appelle pas nécessairement l'explication mobiliste par flexures et affaissements plio-quaternaires, suggérée par H. ENJALBERT. On rejoint là, en revanche, l'observation de F. TAILLEFER (1948), selon laquelle une véritable inversion du relief se serait produite dans la région au cours du Quaternaire, toutes les zones d'alluvions cail-

- -

(1) Il semble qu'il n'en soit pas toujours de même hors du Lauragais : ainsi, dans le Terrefort tarnais, la proximité du Massif central et l'existence de hauts cailloutis tarnais sur certains replats, ont probablement autorisé la conservation de niveaux réellement anciens.

louteuses anciennes (et notamment les plus élevées d'entre elles, celles du Donau) s'étant peu à peu dégagées du paysage sous l'effet de l'érosion différentielle. Précisément, dans le Lauragais toulousain comme dans le Savès, tous les points hauts, buttes, croupes et replats, ont dû s'abaisser d'une ou plusieurs dizaines de mètres depuis le dépôt des alluvions du Donau. Cela semble indiquer que le réseau hydrographique s'est installé très tôt au Quaternaire, découpant rapidement en lanières et replats le plateau originel, et déblayant les matériaux arrachés aux éléments de plateau après chaque phase de ruissellement suffisamment énergique.

Quant à la présence occasionnelle, sur les aplanissements du Terrefort, de cailloutis quartzeux rougis et de lydiennes, elle s'interprète aisément si l'on sait que la molasse, formation détritique d'origine pyrénéenne, montre çà et là dans sa masse des lits ou lentilles de même nature. Tous les autres faciès, en particulier l'argile rouge à éléments quartzeux, ne s'observent qu'à proximité immédiate des nappes culminantes et en proviennent indiscutablement (1).

b) Les replats du Terrefort : un dernier stade de façonnement würmien ?

Peut-on préciser l'âge des sols de plateau et, par conséquent, celui du dernier façonnement effectif des replats ? La diffé-

---

(1) C'est le cas, notamment, du point coté 308, à l'ouest de Beaumont-sur-Lèze, dont l'affleurement d'argile rouge à quartz est attribué au Pliocène par A. CAVAILLE (notice de la carte géologique au 50 000°, feuille de Muret).

renciation des profils, on l'a vu, n'est guère plus poussée que celle qui caractérise les manteaux limoneux des basses plaines würmiennes de la Garonne et de l'Ariège. En outre, la présence de montmorillonite en quantité non négligeable dans les horizons supérieurs des sols exclut à coup sûr que la pédogenèse ait débuté à une période sensiblement antérieure à celle du Würm. Enfin on a montré que, dans les horizons d'accumulation calcaire des sols de plateau, les formes de concentration des carbonates en concrétions, poupées et tubulures racinaires, sinon en éléments de croûte feuilletée très délabrée, n'étaient pas rares et s'apparentaient ainsi à celles des horizons profonds à ségrégation du calcaire de certains sols bruns lessivés des basses plaines. Comme ces derniers, les sols des replats du Terrefort semblent avoir connu l'épisode sec et sans doute froid qui a vu les dépôt des loess : de la même façon, les fissures emplies de calcaire pulvérulent, que l'on observe surtout dans la tranche supérieure de la molasse, en sont-elles peut-être aussi une manifestation (M. MOULINE et al., 1969).

Ainsi, le dernier façonnement effectif des replats du Terrefort semble devoir être rapporté à la première partie du Würm : ces replats se seront alors substitués à des aplanissements plus anciens et plus élevés, dont les sols et la molasse superficielle, largement décapés, ont dû être, au moins en partie, accumulés dans les fonds de vallons : ces derniers, en effet, étaient déjà profondément inscrits, dès cette époque, sous les replats précédents. Précisément, quelques sondages effectués dans certains talwegs du Terrefort révèlent une épaisseur souvent assez considérable (5 à

10 m) de matériel colluvionné, enfoui sous des dépôts plus récents qui, au pied des versants, se raccordent au manteau d'"argile de coulière" tapissant les pentes modérées (L. MEROC et al., 1958). Très hétérogène, ce matériel est composé pour partie de molasse remaniée de divers faciès, de fragments de grés tendre calcaire et d'argile bigarrée (1). On peut voir là les produits de démantèlement des éléments de plateau préwürmiens, dépôts corrélatifs d'une nouvelle et dernière phase de façonnement des replats. Ceux-ci ne se sont pas pour autant conservés jusqu'à nous dans leur intégralité : les colluvions qui drapent les versants longs témoignent en effet d'une destruction partielle de ces aplanissements würmiens.

B - La mise en place postglaciaire des colluvions de versants

Le dépôt des formations colluviales qui revêtent les pentes du Terrefort est assurément récent : elles fossilisent en effet toutes les formes de creusement, excepté l'entaille subactuelle des ruisseaux. Toutefois, la mise en place de ce manteau superficiel, dont l'aspect évoque souvent celui de coulées boueuses, a pu être attribué par H. ENJALBERT (1960) aux solifluxions par gel et dégel de la dernière période glaciaire würmienne.

- -

(1) L'outillage préhistorique recueilli dans ces dépôts, de type moustéro-aurignacien, de même que la faune, à Renne et *Elephas primigenius* notamment, ont conduit précisément L. MEROC et J. PALOUME à rapporter ces formations à un Würm ancien.

En fait, le caractère fort peu évolué des sols développés dans l'"argile de coulière" est sans doute l'indice de formations jeunes : sols bruns calcaires, parfois à faciès de rendzines, et sols bruns calciques, en représentent l'essentiel. Cependant, il est vrai que le degré d'évolution ne constitue pas ici un critère chronologique très sûr. La pente favorise en effet à la fois le rajeunissement des sols (et c'est là sans doute l'origine de la couverture anthropique des bas de versants) et le renouvellement des solutions calciques, ce qui contribue à ralentir aussi bien le lessivage que l'altération des minéraux phylliteux.

Plus probantes, en revanche, semblent la composition et la situation de ces dépôts. Il est clair, en effet, qu'ils proviennent, dans une assez large mesure, du démantèlement partiel des replats façonnés au cours du Würm et dont ne subsistent aujourd'hui que des éléments d'étendue fort limitée. Les profils des versants longs expriment parfaitement cette origine : les sols bruns calciques montrent une association de minéraux argileux qui reflète étonnament la teneur moyenne des sols de plateaux, traduisant ainsi le mélange de leurs horizons. Les sols bruns calcaires, quant à eux, trahissent la complexité de leur matériel parental : fragments de molasse d'aspect relativement frais y sont intimement mêlés aux débris des sols de plateaux et, surtout, à des éléments de calcaire concrétionné (notamment poupées et nodules), lesquels sont indiscutablement remaniés des horizons d'accumulation calcaire que nous avons décrits sous les sols de replats.

Enfin, on se souvient que, dans certains secteurs, les dépôts des versants longs fossilisent localement les placages loes-

siques tapis au pied des versants : c'est bien la preuve que l'"argile de coulière" représente une formation très récente (1). On peut y voir, en toute hypothèse, l'effet du réchauffement et du regain d'humidité immédiatement postérieurs à la fin du Würm. C'est là, en tout cas, la confirmation que les dépôts de pente récents, de type coulée boueuse ou solifluxion, ne représentent pas nécessairement des formations périglaciaires, comme l'a d'ailleurs montré G. VIERS (1960) dans le piémont des Pyrénées occidentales.

4 - QUELQUES ENSEIGNEMENTS

A - L'insuffisance des indices purement morphologiques

a) La fragilité des critères altimétriques

Les dangers d'une datation des nappes alluviales par leur seule altitude relative au-dessus des cours d'eau ont déjà été soulignés à maintes reprises par de nombreux auteurs (notamment F. TAILLEFER, 1957 et G. VIERS, 1966, pour le piémont pyrénéen). Certes, dans l'avant-pays molassique, l'étagement régulier de 5 niveaux de terrasses assez continus et plus ou moins bien distincts les uns des autres, signale incontestablement l'ancienneté croissante des nappes et permet le plus souvent d'assigner à chacune d'entre elles une place dans la chronologie relative.

- -

(1) G. ASTRE (1952) a pu établir le caractère relativement "moderne" des populations de Gastéropodes fossilisés, par endroit, dans l'"argile de coulière" : on note, en particulier, la présence de nombreux *Tachea nemoralis* L. et *Cyclostoma elegans* Müll., espèces aussi abondantes aujourd'hui, mais fort rares dans les loess.

Il reste que, même dans ces conditions favorables, la valeur du critère d'altitude est loin d'être toujours satisfaisante. Ainsi, le long de la Garonne, les formations mindéliennes, qui sont à 50-60 m entre Boussens et Muret, atteignent près de 90 m sur leurs paliers les plus élevés, à l'aval de Toulouse. De même, sur l'Ariège, la moyenne terrasse mindélienne se tient approximativement vers 50-60 m au sud-est de Pamiers (plateau des Pujols), mais monte à plus de 80 m à l'aval de Saverdun, pour s'établir de nouveau à 50 m environ, à l'amont du confluent avec la Garonne.

On pourrait en dire autant des niveaux plus récents : c'est ainsi que, par exemple, la terrasse würmienne de la Garonne, entre Boussens et Noé, se trouve à 15 m au-dessus de l'étiage, à Martres-Tolosane, mais à près de 30 m à Carbonne, pour s'abaisser enfin vers 15 m à Muret, et à une altitude encore plus faible à l'aval de Toulouse. Pareillement, la terrasse rissienne garonnaise, qui dépasse 35 m au château de Martres, n'est plus qu'à 20 m à peine à Verdun-sur-Garonne, tandis qu'elle passe à 30 m environ sur le plateau de confluence de Lavilledieu-Montech.

Dans ces conditions, la chronologie établie à partir d'une corrélation entre paliers alluviaux discontinus et de même altitude relative s'avère le plus souvent illusoire. Sans doute, comme l'a noté A. CAVAILLE (1965), l'existence de ces paliers ou de ces décalages altimétriques traduit-elle beaucoup plus les légères variations du rapport débit-charge dont dépend l'ampleur du creusement, et propres à chaque secteur des cours d'eau,

qu'elle n'est le signe de modifications globales des conditions morphogéniques : évolution tranchée du climat, par exemple, ou soulèvement du sol.

Mais c'est surtout sur la bordure montagnarde, et particulièrement à proximité des anciens fronts glaciaires, que le critère d'altitude semble le plus contestable. Si l'on s'en tient à cet indice, en effet, les "hautes" terrasses de Seilhan, Bentouy et du château de Barsous, sur la Garonne, celle de Foix-Cadirac, sur l'Ariège, qui dominent les cours d'eau de plus de 50 m, sont alors parfaitement homologues de la nappe mindélienne de Montréjeau - Saint-Gaudens, établie à 60 m environ au-dessus du fleuve. Ce point de vue, on le sait, est celui de H. ALIMEN (1964) (1) et, pour la nappe de Foix-Cadirac tout au moins, de L. GORON (1941) et J. J. LAGASQUIE (1971) (2). Pourtant, peut-on véritablement considérer que l'avancée de puissantes langues glaciaires dans la cluse de Tibiran-Jaunac et dans celle de Foix soit demeurée sans effet ? On se doute bien, au contraire, que l'épaisseur même de ces appareils explique à elle seule l'altitude élevée des dépôts accumulés sur la marge des glaciers, lors d'un épisode mineur de

- -

(1) Point de vue qui s'exprimera d'ailleurs lors de la parution de la feuille de Montréjeau de la carte géologique au 50 000ème, en cours d'établissement (M. ICOLE, communication orale). De ce fait, le glaciaire ancien de Seilhan est attribué non pas au Riss, mais au Mindel .

(2) Rappelons que pour L. GORON, les terrasses de Seilhan et Bentouy sont assimilées à un complexe de moraines et de terrasses de barrage glaciaire ou morainique, d'âge würmien. Au contraire, la nappe de Foix-Cadirac est rattachée au stade des terrasses moyennes de l'Ariège, attribué par L. GORON au Riss et non pas au Mindel.

contraction et de fusion des glaces (1). Précisément, on l'a vu, leurs faciès d'altération plaident en faveur d'une mise en place bien plus récente que le Mindel, et que nous avons rapportée au Riss : dans ce cas précis, tout au moins, la preuve d'une glaciation "ancienne" d'âge mindélien, est donc encore loin d'être faite.

Enfin, dans une perspective quelque peu différente il est vrai, on a montré que les divers replats qui dominent le paysage du Terrefort molassique, n'avaient plus grand chose de commun avec la surface fini-pliocène ou quaternaire ancienne qu'on a voulu y voir. Certes, ils constituent encore le seul témoignage, très imparfait, de ce qui était, au début du Quaternaire, un vaste plateau nettement plus élevé et probablement entaillé de larges vallées à fond plat, disposition que suggère encore de nos jours l'étagement local en replats supérieurs et inférieurs. Mais ceux-ci ne forment plus aujourd'hui qu'un relief résiduel, sans doute assez considérablement abaissé par rapport à la surface primitive (2) et

- -

(1) Il n'est du reste pas impossible que, dans la cluse de Tibiran-Jaunac, par exemple, les terrasses de Seilhan et Bentouy aient véritablement "pris la place" d'anciennes nappes effectivement mindéliennes, détruites lors de la progression du glacier rissien.

(2) Surface primitive qui était probablement, et pour une bonne part, d'origine structurale, si l'on considère que le pendage des couches molassiques devient extrêmement discret dès que l'on s'éloigne quelque peu des chaînons prépyrénéens (F. CROUZEL, communication orale).

dont le dernier façonnement remonte à une période fort récente, würmienne : ce sont là beaucoup plus, à nos yeux, que de simples retouches de détail.

b) Le modelé des nappes alluviales : sa faible valeur stratigraphique (1)

Comme on l'a vu plus haut, l'altitude relative d'une nappe donnée, même dans un domaine aussi homogène que l'avant-pays molassique, n'est pas identique d'un secteur à l'autre des vallées. Si ce phénomène traduit l'enfoncement différentiel des cours d'eau postérieurement au dépôt, il exprime également les variations locales de la pente longitudinale des terrasses. Mais celles-ci se caractérisent également par leur profil transversal, plus ou moins incliné et accidenté par les talus des paliers.

On sait qu'à cet égard, H. ENJALBERT (1960) oppose, dans les couloirs alluviaux de la Garonne et de l'Ariège, deux grandes familles de formes : d'une part, des "glacis préglaciaires" inscrits sous la nappe culminante et qui correspondent respectivement aux hautes terrasses günziennes et aux moyennes terrasses mindéliennes que nous avons définies dans les pages précédentes; d'autre part, des terrasses "glacio-fluviales", lesquelles s'apparentent aux basses terrasses rissiennes et aux basses plaines würmiennes.

- -

(1) On n'évoquera pas ici les constructions morainiques, dont le caractère singulier est évident.

Les premiers se signalent par un profil transversal assez nettement incliné vers le fond des vallées actuelles : ce serait là un caractère lié à de larges épandages détritiques mis en place sous climats à tendance semi-aride, et dénonçant l'instabilité des cours d'eau ainsi que leur glissement général vers l'est, lors des périodes antérieures au Riss. Au contraire, les nappes alluviales, aux formes plus régulières et au profil transverse proche de l'horizontale, qui tapissent le fond de vallées désormais bien calibrées, seraient propres aux remblaiements des périodes glaciaires rissienne et würmienne.

Sans vouloir discuter ici l'ensemble du schéma morphoclimatique présenté par H. ENJALBERT, on relèvera cependant une contradiction sérieuse avec nos propres observations. Ainsi, la basse Boulbonne et le plateau de confluence de Lavilledieu-Montech sont assimilés à des "glacis inférieurs", c'est-à-dire homologues des nappes mindéliennes (1). Certes, leur profil transversal est un peu plus nettement incliné (et, pour le plateau de Lavilledieu-Montech, dissymétrique et accidenté de talus) que celui des basses plaines garonnaises et tarnaises ou de la Grausse ariégeoise. Il reste que les caractères de leurs faciès d'altération, comme cela a été démontré antérieurement, ressortissent sans aucune contestation possible à des formations rissiennes : apparemment, les critères de formes utilisés pour distinguer les "glacis préglaciaires" antérissiens des terrasses "glacio-fluviales", sont donc loin de constituer un indice stratigraphique toujours solidement fondé.

- -

(1) Du même coup, la haute Boulbonne (plateau des Pujols) devient un "glacis supérieur", donc un niveau günzien.

Il n'en demeure pas moins que, le long de la Garonne en particulier, l'allure générale des nappes antérissiennes, leur pente transversale souvent plus forte que celle des terrasses récentes, les larges surfaces balayées par les anciens lits qu'elles suggèrent (1), l'épaisseur même des remblaiements, tout cela témoigne peut-être de modalités climatiques différentes de celles qui ont présidé à l'édification des terrasses rissiennes et würmiennes : on reviendra quelque peu sur cette question dans un chapitre ultérieur.

B - Les données préhistoriques : des arguments peu fiables

a) Les industries lithiques : des gisements superficiels

On a déjà évoqué, dans un chapitre antérieur (2), les raisons pour lesquelles la stratigraphie des limons, établie sur la base des trouvailles archéologiques, ne nous semblait pas revêtir une portée générale. A cela, on peut ajouter, comme le souligne A. CAVAILLE (1969 a), que la plupart des industries préhistoriques ont été récoltées soit à la surface même des terrasses, là ou affleure la grave, soit à faible profondeur dans les limons de couverture.

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) C'est surtout le cas pour la nappe culminante, et tout spécialement en Lomagne, où la pente transversale approche souvent 3 %, et dont la largeur dépasse localement 15 km, à l'est de Beaumont-de-Lomagne.

(2) Cf. 2ème partie, Chapitre III, 2.

Il en résulte que les niveaux de terrasse ne sont pas fatalement datés par l'outillage qu'ils supportent. Tout au plus celui-ci permet-il de fixer une limite supérieure dans l'échelle stratigraphique. Ainsi, le façonnement moustérien des quartzites recueillis sur les basses terrasses de l'avant-pays interdit-il sans aucun doute leur attribution à un épisode postérieur au Würm. Mais cette industrie ne signale pas pour autant l'âge de leur mise en place, dont on a vu qu'elle devait être rapportée au Riss. C'est que les basses plaines étaient précisément en voie d'édification au cours du Würm : sporadiquement balayées par les crues, elles ne constituaient certainement pas un habitat idéal pour les chasseurs moustériens : on comprend que ceux-ci aient laissé les traces de leur passage en des lieux plus sûrs, correspondant à des terrains plus élevés comme ceux des terrasses rissiennes. De là, probablement, le décalage général entre l'échelle chronologique de la préhistoire et celle que permettent d'établir les sols et les faciès d'altération.

Mais là ne réside pas le seul inconvénient des attributions stratigraphiques fondées sur l'outillage ancien. On sait, en effet, combien il est difficile, de l'avis des préhistoriens eux-mêmes (1), de fixer avec exactitude l'âge des quartzites taillés, et ce d'autant plus que les industries sont plus frustes et antérieures au Moustérien, ce qui est le cas, précisément, des documents recueillis sur les nappes mindéliennes des moyennes terrasses (2).

- -

(1) G. ASTRE, communication orale.

(2) On en veut pour preuve la diversité des attributions suscitées par l'interprétation des quartzites taillés, et rappelées par L. GORON (1941).

Déjà hasardeuse dans les conditions relativement favorables d'un étagement des nappes alluviales distinctes les unes des autres, l'utilisation stratigraphique des industries préhistoriques est encore plus aléatoire, on s'en doute, lorsqu'il s'agit des remplissages de grottes. Ainsi celles qui, dans le bassin de Tarascon ou dans la cluse de Tibiran, par exemple, s'ouvrent au flanc des massifs calcaires urgo-aptiens. On évoquera simplement pour mémoire les restes d'industries et les gravures pariétales des grottes de Niaux et de la Vache, attribués pour la plupart au Magdalénien et, pour les plus anciens, au Moustérien (E. CARTAILHAC, 1910; L. MEROC, 1969 b).

b) Rareté et incertitude des indices paléontologiques

Dans les dépôts calcaires ou encore suffisamment calciques et, de ce fait, proches de la neutralité, on a vu que les restes de Mollusques n'étaient pas rares : leur valeur stratigraphique n'est pas négligeable, et on en a fait état à propos des loess et des sols bruns lessivés à horizons calcaires de profondeur des basses plaines, comme à celui des lits majeurs et du Terrefort molassique.

A ces exceptions près, l'acidité du milieu est la règle pour la plupart des nappes alluviales, et pour les plus anciennes en particulier : elle explique à la fois l'extrême rareté des ossements et la nature des quelques trouvailles : débris de dents, de défenses ou de bois de Cervidés, le plus souvent très dégradés. Certes, les reliques de Mammouth récoltées dans la basse plaine garonnaise : Elephas primigenius et E. trogontherii, corroborent parfaitement l'hypothèse d'une mise en place de ces basses plaines

au cours de la période froide würmienne (1). Mais nulle part les alluvions antérieures n'ont fourni de fossiles permettant de leur assigner une place dans la stratigraphie du Quaternaire.

Les grottes de la bordure montagneuse, en revanche, encombrées de remplissages le plus souvent calcaires et parfois consolidés en brèches, offraient des conditions bien plus favorables à la conservation des ossements. De là l'abondance de gisements fossilifères, dont les plus connus et les mieux étudiés se situent notamment à Gargas et Tibiran, non loin de la cluse du même nom, à Montmaurin, dans la haute vallée de la Save, et à proximité de Montsaunès (F. REGNAULT, 1883, 1884, 1885; E. HARLE, 1891, 1894; M. BOULE, 1902; L. MEROC, 1954). Mais, une fois encore, l'inconvénient majeur de ces remplissages de grottes provient de ce qu'ils ne peuvent être rattachés en toute certitude aux nappes alluviales. Sans doute, la faune froide à Ours des cavernes, Loup et Hyène des cavernes, découverte à Gargas, remonte-t-elle probablement à l'une ou l'autre des deux périodes glaciaires, Riss ou Würm, définies antérieurement. Mais rien, ni l'altitude à laquelle s'ouvre la grotte, ni la nature des dépôts argileux qui emballent les

- -

(1) L. MEROC (1953) a fait état également d'un fragment de bois de Cerf élaphe, récolté dans la basse plaine garonnaise. Par ailleurs, M. BOULE (1895) a signalé la présence d'un bois de Renne dans la nappe de la Plaine de Rivière, au sortir de la cluse de Bazert.

ossements ne permet d'en avoir véritablement confirmation et n'autorise une attribution plus précise (1).

Cependant, on peut admettre, avec H. ALIMEN (1964), que l'altitude de l'entrée des grottes n'est pas toujours dépourvue de signification. Ainsi, celle de Montsaunès, par exemple, qui s'ouvre un peu au-dessus de la terrasse mindélienne du même nom: sans doute cette situation indique-t-elle que le remplissage n'a pu se produire qu'après une phase de creusement précédant le dépôt des alluvions mindéliennes et dégageant, de ce fait, la paroi calcaire où débouche aujourd'hui la caverne. Aussi, la faune "chaude" de Montsaunès, comme d'ailleurs celle de Montmaurin, où se retrouvent notamment le Machairodus, la Hyène striée et Hyena brunnea, le Mammouth antique et Rhinoceros mercki, doit-elle être probablement regardée comme quaternaire et plus précisément peut-être, comme postérieure au Günz, épisode de remblaiement immédiatement antérieur au Mindel. Par ailleurs, on peut penser que cette faune, si différente de celle, à affinité froide, qu'ont livrée les dépôts des périodes glaciaires, est bien plus ancienne et certainement antérissienne (2). Aussi bien, plus qu'elle ne contribue véritable-

- -

(1) Dans certains cas, il est vrai, quelques remplissages peuvent être datés de façon plus sûre. Ainsi, dans la grotte de la Vache (bassin de Tarascon), pollens et mesures radiochronologiques plaident en faveur d'un âge würmien (A. LEROI-GOURHAN, 1967). Mais, là encore, la corrélation avec les terrasses alluviales ou les moraines nous semble très aléatoire.

(2) Rappelons que pour L. GORON (1941), cette faune à affinité chaude caractériserait l'interglaciaire Riss-Würm.

ment à une meilleure définition de la stratigraphie des nappes alluviales, cette faune "chaude" pose surtout un problème d'ordre paléoclimatique. Précisément, dans la suite de ce travail, nous serons amenés à discuter la valeur de témoignage de ces indices faunistiques, en même temps qu'on tentera de rechercher dans quelle mesure les faciès d'altération des nappes alluviales ont enregistré les fluctuations climatiques du Quaternaire.

SECTION 2

A LA RECHERCHE DES ANCIENS CLIMATS QUATERNAIRES

CHAPITRE XI

LA SIGNIFICATION PALEOCLIMATIQUE DES SOLS ET DES ALTERATIONS

CHAPITRE XI

LA SIGNIFICATION PALEOCLIMATIQUE DES SOLS ET DES ALTERATIONS

Dans les chapitres précédents, la prise en compte des sols et des faciès d'altération développés dans les principales nappes détritiques du domaine garonnais et ariégeois, répondait à une préoccupation essentiellement stratigraphique. Il s'agissait d'abord, en effet, de rattacher les unes aux autres des formations que leur éloignement ou leur caractère discontinu, la variabilité de leur altitude relative au-dessus des cours d'eau et, plus encore, les conditions locales de leur mise en place, ne permettaient pas jusqu'à présent d'attribuer à une même période de dépôt ou de façonnement. Dans un second temps, les formations ainsi définies ont pu être insérées dans l'échelle stratigraphique du Quaternaire alpin.

Dans certains cas, il est vrai, ce sont des indices plus spécifiquement paléoclimatiques qui ont été pris en considération : ainsi, l'éolisation de larges secteurs des basses plaines de l'avant-pays, les faciès de ségrégation et de cimentation du calcaire, l'existence même des placages loessiques, ont-ils été rapportés à la pha-

se sèche de la seconde partie du Würm. Dans une optique analogue, il n'était guère possible de faire abstraction des singularités morphologiques évidentes que représentent les témoins morainiques des périodes glaciaires.

Il reste que, à ces exceptions près, sols et altérations n'ont généralement pas été envisagés dans une perspective véritablement paléoclimatique. Or, il est clair que, postérieurement à la construction des plateaux de piémont homologues du Lannemezan, 5 grandes phases de remblaiement et de creusement se sont succédées le long des grands cours d'eau, depuis le dépôt des nappes du Donau. Elles traduisent sans doute des variations majeures dans les conditions bioclimatiques qui prévalent depuis l'aube du Quaternaire (1). Au moins a-t-on la quasi-certitude que les deux périodes les plus récentes, Riss et Würm, ont connu un climat froid, responsable de l'avancée des glaciers, à deux reprises, sur la bordure montagneuse. Mais pour le reste, notamment pour les épisodes antérissiens, l'incertitude demeure la règle, aussi bien à propos des phases de remblaiement elles-mêmes, considérées par certains auteurs comme de véritables périodes glaciaires, que des phases intermédiaires ou éventuellement interglaciaires (2).

- -

(1) On reviendra, dans le chapitre XIII, sur le point de vue selon lequel, depuis le début du Quaternaire, un soulèvement saccadé du sol serait responsable, au moins en partie, de l'étagement des nappes.

(2) On présentera brièvement, dans le chapitre XIII, l'état de la question concernant l'existence de périodes glaciaires anciennes et le point de vue que nous serons amené à défendre.

Ainsi est-on conduit à aborder deux principales directions de recherche, au demeurant étroitement solidaires et indissociables l'une de l'autre, que l'on peut formuler de la façon suivante :

- d'une part, dans quelle mesure sols et altérations ont-ils enregistré des conditions paléoclimatiques dont l'existence est aujourd'hui solidement fondée, comme celles qui ont prévalu au cours du Riss et du Würm ?

- d'autre part et inversement, la nature ou l'intensité des phénomènes d'altération qui se manifestent dans les nappes alluviales et en particulier dans les dépôts prérissiens, sont-elles susceptibles de fournir des indications sur les conditions climatiques qui ont présidé au développement des profils ?

Pour ce faire, on examinera successivement les 3 principaux groupes de processus qui marquent l'évolution pédologique et l'altération des formations quaternaires : différenciation des profils dans les couvertures limoneuses (ou dans la molasse); évolution du fer; argilisation et kaolinisation des alluvions graveleuses.

1 - LA DIFFERENCIATION DES PROFILS DANS LES COUVERTURES LIMONEUSES

Pendant longtemps, on a pu considérer que, dans l'avant-pays molassique garonnais et ariégeois notamment, le climat actuel interdisait une différenciation pédologique poussée des limons (1)

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Et, également, des aplanissements du Terrefort molassique.

(A. CAVAILLE, 1951, 1969 a; J. MALLET et al., 1956; J. DUPUIS, 1958). Et il est vrai que, à l'aval des cluses, la tranche d'eau annuelle moyenne est relativement faible et se tient autour de 700 mm, dont la plus grande part tombe au printemps et en automne. Les températures sont plutôt douces (moyenne annuelle de 12,9° C à Toulouse); mais, surtout, la sécheresse estivale, particulièrement sensible dans des grands couloirs alluviaux, entraîne une forte évapo-transpiration potentielle durant cette période. Il en résulte que le bilan annuel d'eau drainante dans les profils demeure fort modeste : de 40 à 100 mm (J. C. BEGON, 1972), ce qui n'autoriserait, en principe, qu'un discret lessivage des roches-mères.

D'où, l'interprétation traditionnelle selon laquelle les profils nettement différenciés, développés dans les couvertures limoneuses des terrasses et dans la molasse des replats du Terrefort, auraient acquis leurs caractères majeurs au cours des périodes froides du Quaternaire, dont le climat était particulièrement favorable à la formation de sols évolués, sinon à la podzolisation (1). Postglaciaires, en revanche, les basses plaines de l'avant-pays (et les niveaux homologues, à l'amont des cluses) auraient échappé à ce processus, ce que traduiraient leurs profils médiocrement différenciés.

Quel crédit accorder à cette interprétation périglaciaire de l'évolution pédologique des couvertures limoneuses ? On peut tout d'abord rappeler que ses prémisses sont manifestement erronées:

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Conception qui a surtout été défendue par A. CAVAILLE.

- d'une part, en effet, on a vu que les basses plaines de l'avant-pays ne sont pas postglaciaires mais, qu'au contraire, leur mise en place doit être rapportée au Würm. Toutefois, on peut quand même estimer que leurs manteaux limoneux ont acquis une part appréciable de leurs caractères pédologiques pendant toute la durée du Postglaciaire;

- d'autre part, les basses plaines de l'avant-pays montrent, en règle générale, des profils déjà nettement différenciés : sols bruns lessivés, le plus souvent et, exceptionnellement, sols lessivés qui s'apparentent alors dans une certaine mesure à ceux qui couvrent les basses terrasses rissiennes.

A elle seule, cette dernière observation tend déjà à limiter quelque peu le rôle des climats froids sur l'évolution des sols. Mais la faiblesse des indices traduisant l'action purement mécanique du froid, dans le piémont garonnais et ariégeois, doit aussi être prise en considération.

A - Rareté et localisation des formes de cryergie

Sur la bordure montagneuse et à proximité des anciens fronts glaciaires, les dépôts de pente gélivés ne manquent pas : ils s'observent notamment au pied des versants calcaires. Ainsi en est-il, par exemple, des grèzes et brèches litées qui drapent les calcaires urgo-aptiens et les dolomies jurassiques du Roc de Sédour, à l'ouest des moraines ariégeoises de la Bernière, ou celles qui recouvrent le pied du Pech de Foix (F. TAILLEFER, 1969 c). De même, dans la vallée de la Garonne, au-dessus de Camaroux et de

Barbazan, les basses pentes calcaires portent-elles un revêtement de grèzes plus ou moins épaisses et parfois cimentées. Certes, la sensibilité au gel de nombreuses roches calcaires est connue de longue date : mais la puissance de certains dépôts cryogéniques, comme ceux du Roc de Sedour, qui, atteignent une quarantaine de mètres d'épaisseur, atteste sans doute la relative efficacité et la durée de l'épisode froid qui en est la cause. Par ailleurs, H. ALIMEN (1951, 1964) a décrit en Bigorre quelques faciès à sols striés et festonnés, bien rares il est vrai, ainsi que des traces d'éclatement ou de fissuration par le gel, qui affectent les galets inclus dans les nappes alluviales, en particulier dans celle, rissienne, du Gave de Lourdes (1).

Il reste que, dans les nappes alluviales, précisément, les structures de cryergie sont extrêmement rares ou, en tout cas, très difficiles à mettre en évidence. Rien de plus malaisé, en effet, que l'opération qui consiste à faire la part entre des dispositions fluviatiles, à l'origine très diversifiées, et des formes d'organisation tributaires d'une cryoturbation (2). En fait, qu'il s'agisse de poches de limons s'enfonçant dans les matériaux graveleux, ou d'arrangements plus ou moins obliques ou à tendance columnai-

- -

(1) On laisse de côté ici les formes de solifluxion, dont la genèse est loin d'être toujours liée à l'action des climats froids.

(2) On rappellera ici les échanges de vue avec M. MOULINE, à propos du caractère cryoturbé (et fort peu probant, à nos yeux) de certaines terrasses alluviales de l'Albigeois.

re de graviers et de cailloutis, ces dispositions ne nous semblent pas, sauf exception, pouvoir être mises systématiquement en relation avec l'action du gel : au reste, de tels phénomènes s'observent, par place, dans les nappes postglaciaires des lits majeurs (en particulier, dans la Plaine de Rivière et à l'aval de Toulouse).

Aussi bien, force est de constater que, non seulement dans l'avant-pays, mais aussi dans les basses vallées montagnardes à l'aval des anciens fronts glaciaires, aucune des principales formes périglaciaire impliquant l'action prolongée de gels sévères, n'a pu être observée dans le piémont garonnais et ariégeois : c'est ainsi qu'on ne trouve par exemple ni fentes en coin, ni sols polygonaux. On sait pourtant que ces derniers ont été décrits à maintes reprises dans la basse vallée du Rhône, dans une région somme toute peu éloignée de la nôtre et de latitude comparable (A. CAILLEUX et al., 1968; H. ARNAL, 1971 a, 1971 b).

Il semble donc que, pour l'essentiel, le piémont garonnais et ariégeois ait échappé aux très grands froids, intenses et prolongés, qui, en d'autres régions, caractérisent le climat des périodes glaciaires. Les conditions très rigoureuses qui, au cours du Riss et du Würm, prévalaient dans l'ensemble de la chaîne pyrénéenne, devaient rapidement s'estomper avec l'abaissement du relief, si bien que les vallées sous-pyrénéennes et, plus encore, l'avant-pays molassique, ne connaissaient sans doute que des climats périglaciaires fort atténués, comme en témoigne l'absence des grandes formes de cryergie (1).

---

(1) Fait déjà souligné par F. TAILLEFER (1951 b).

Reste que, même dans ces conditions, il s'agit là de climats bien plus rudes que l'actuel, tantôt froids et humides, tantôt plus secs, et qui ont dû représenter une part appréciable de la durée du Riss et du Würm. Pourtant, dans les sols développés à partir des couvertures limoneuses, l'empreinte des périodes froides et humides n'est guère patente, pas plus d'ailleurs que ne l'est celle d'éventuelles phases plus chaudes antérieures au Riss.

B - La différenciation pédologique des manteaux limoneux au cours du Quaternaire : une séquence évolutive "normale", sans implication paléoclimatique majeure

Depuis les formations peu évoluées des dépôts postglaciaires, jusqu'aux profils très différenciés et hydromorphes à sols lessivés glossiques qui tapissent les nappes culminantes du Donau, dans l'avant-pays, les sols développés dans les couvertures limoneuses représentent les différents stades d'une même séquence évolutive globale, analogue en cela à celle qui a été établie en d'autres régions riches en formations limoneuses d'Europe occidentale (R. DUDAL, 1953; M. JAMAGNE, 1969, 1970; J. C. BEGON, 1972; J. C. BEGON et al., 1972). Deux facteurs essentiels règlent la succession des stades de cette séquence :

- d'une part, l'ancienneté croissante des dépôts, qui commande l'âge du sol. On a vu, à cet égard, qu'en raison de l'inertie pédologique qui affecte les limons déjà fortement différenciés, ce facteur ne fait véritablement sentir son effet que jusqu'au niveau des nappes rissiennes (1); au-delà, l'évolution des sols n'est

- -

(1) Cf. Chapitre IX, 2, C.

plus que très modérément liée à l'âge des dépôts limoneux. Ainsi, dans l'avant-pays, la séquence chronologique regroupe-t-elle schématiquement les stades successifs suivants :

- sols peu évolués (Postglaciaire)
- sols bruns lessivés (Würm)
- sols lessivés hydromorphes (Riss)
- sols lessivés glossiques (nappes antérissiennes);

- d'autre part, les conditions stationnelles de la pédogénèse, notamment celles qui, comme l'épaisseur et la nature des limons, la topographie et le drainage qu'elle implique, le degré de colmatage des graves sous-jacentes, règlent la vitesse et les modalités de l'évolution ou, de façon très générale, l'intensité de l'hydromorphie. Dans ce cas, la pédogénèse ne doit rien à l'ancienneté relative des alluvions (1), et ne fait que traduire, avec plus ou moins de vigueur, la diversité des sites et la structure originelle des dépôts.

Ainsi, dans les basses plaines würmiennes de l'avant-pays, les secteurs, au demeurant assez rares, à sols lessivés, correspondent-ils probablement à des apports limoneux déjà acides au départ et sans doute repris soit à une terrasse plus ancienne, soit à des matériaux molassiques fortement pédogénisés. Au contraire, tout semble indiquer que ce sont des limons initialement

---

(1) Exception faite des sols postglaciaires : les dépôts subactuels sont à peine brunifiés et, le cas échéant, calcaires dès la surface.

très calcaires qui ont donné les sols bruns lessivés à accumulation calcaire de profondeur et à indice de distribution d'argile plus faible que les sols bruns lessivés "modaux", ces derniers certainement issus de limons fort peu carbonatés à l'origine (1). De même, sur tous les niveaux de terrasses antérieurs au Würm, les stades de différenciation des profils expriment-ils essentiellement l'intensité de l'hydromorphie : sols lessivés hydromorphes dans les secteurs les moins mal drainés; sols lessivés glossiques là où les limons offrent une épaisseur suffisante; profils à caractères de planosol dans les zones légèrement déprimées; sols hydromorphes à accumulation de fer plus ou moins consolidée, lorsque le toit des cailloutis remonte à proximité de la surface.

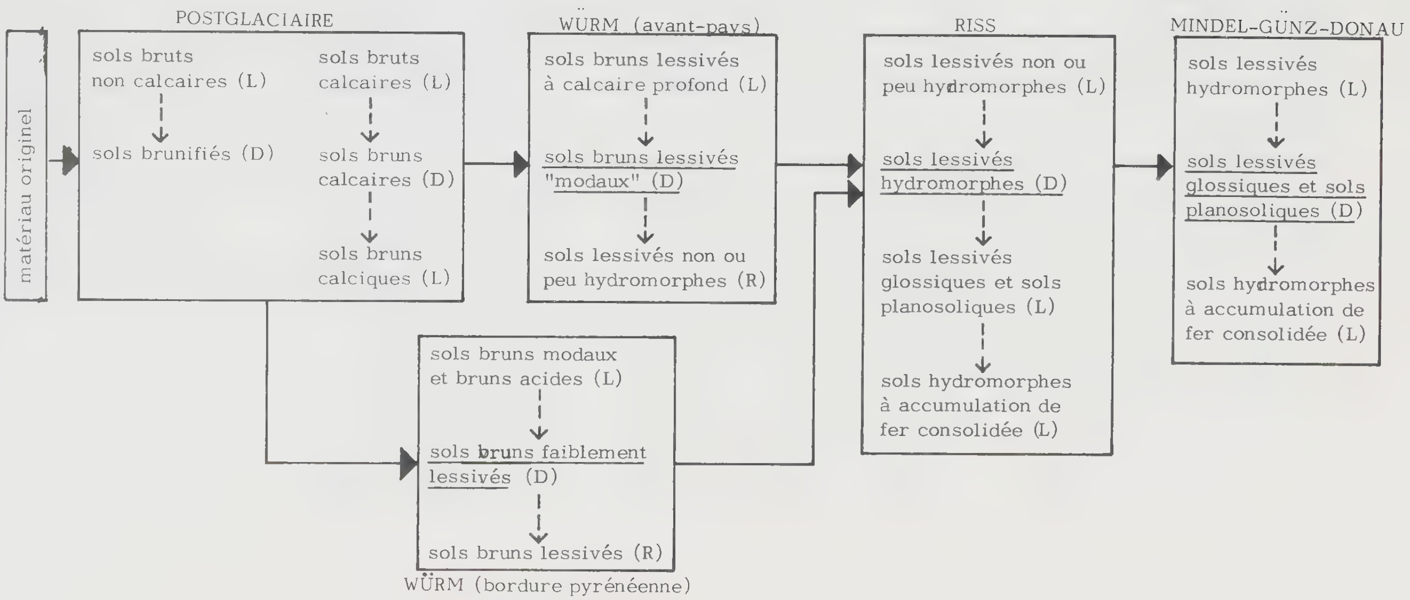
A chaque niveau de terrasse correspond ainsi une séquence évolutive partielle, qui ne regroupe que quelques uns des stades de la différenciation pédologique des limons (tableau 17) (2).

---

(1) On a vu qu'à la limite, la nature géochimique des couvertures meubles superficielles peut ralentir considérablement l'évolution pédologique au cours des premiers stades de développement, puisque les niveaux würmiens des basses vallées montagnardes ne portent que des sols faiblement lessivés pour la plupart.

(2) On peut remarquer, à ce propos, que les différents stades de ces séquences évolutives partielles ne procèdent pas toujours nécessairement et chronologiquement les uns des autres, comme le suggère l'expression même de séquence évolutive. Ainsi, par exemple, les sols à grep représentent-ils un stade aléatoire, lié à un site bien déterminé, et qui implique une intervention précoce de l'hydromorphie, sans passage préalable par des stades moins "évolués", tel celui du sol lessivé glossique. Dans ce cas, le concept de séquence évolutive revêt alors une signification essentiellement taxonomique, en ce sens que la succession des termes qui la constituent exprime simplement l'effet croissant d'un processus pédogénétique donné, qui correspond ici à l'hydromorphie.

Tableau 16 - Séquence évolutive globale et séquences évolutives partielles des sols sur couvertures limoneuses - (D) : dominant; (L) : local; (R) : rare. A l'échelle du Quaternaire, les stades d'évolution des sols s'organisent en une séquence globale (flèche en trait plein) liée essentiellement à l'ancienneté des dépôts (exception faite des limons de la bordure pyrénéenne, dont l'évolution de départ est plus lente). Au-delà du Riss, cependant, le gradient d'évolution devient plus faible, en raison de l'inertie pédologique des limons. Pour chaque niveau quaternaire s'esquisse une séquence évolutive partielle (flèche en trait interrompu), dont les différents stades traduisent l'influence des conditions locales (drainage, nature et structure des dépôts), sauf dans le cas du Postglaciaire, où, du fait de la rapidité de l'évolution au départ, les termes les plus avancés caractérisent aussi les dépôts les moins récents. Les limons des plateaux de piémont ne sont pas envisagés ici, non plus que certains faciès très locaux comme les sols lessivés podzoliques sous forêt.



L'important est que la succession des stades qui caractérisent la séquence évolutive globale et, a fortiori, les séquences évolutives partielles, n'offre guère d'implication paléoclimatique particulièrement évidente. Si les basses plaines würmiennes de l'avant-pays portent des sols moins différenciés que ceux, généralement lessivés hydromorphes, des terrasses rissiennes, c'est d'abord et surtout parce qu'ils représentent une étape encore précoce du développement de la pédogénèse.

D'autre part, il convient également de souligner le rôle considérable de l'hydromorphie : dès le Riss, en effet, elle constitue un facteur prépondérant de l'évolution des profils. C'est que, le plus souvent, cette hydromorphie est secondaire à la formation d'un épais horizon argillique Bt, tassé et peu perméable car pauvre en ions calcium, et qui n'atteint justement un stade de développement important qu'à partir du Riss. Aussi, dès ce moment, l'évolution des couvertures limoneuses est-elle commandée, dans une large mesure, par l'hydromorphie secondaire de nappe perchée induite par l'horizon argillique (1). Mais cette hydromorphie, en

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Les processus d'hydromorphie primaire, liés aux battements de la nappe phréatique supra-molassique, et intervenant à un stade précoce de l'évolution, ne doivent sans doute pas non plus être négligés (J. C. BEGON, 1972), en particulier lorsqu'à une faible épaisseur locale du remblaiement alluvial, s'ajoute un "effet de creux" du plancher molassique. Dans ce cas, l'évolution des profils est sans doute plus rapide, les battements phréatiques accélérant notamment le tassement des horizons Bt et la redistribution du fer.

retour, accélère l'évolution du profil : aussi ne doit-on pas s'étonner que les stades à sols glossiques et planosoliques (et, à la limite, les sols à grep), qui caractérisent surtout les nappes mindéliennes et plus anciennes (1), s'observent déjà localement sur les terrasses rissiennes, traduisant ainsi la rapidité d'acquisition des traits morphologiques liés à l'hydromorphie.

Ainsi, durée d'évolution des sols, d'une part et, d'autre part, intervention plus ou moins précoce des processus d'hydromorphie, qui se manifestent surtout à partir du stade des sols lessivés rissiens, semblent donc représenter les facteurs primordiaux de la pédogénèse des couvertures limoneuses, sans qu'il soit possible d'y déceler l'empreinte des variations bioclimatiques du passé.

De fait, si l'on considère que les limons qui drapent les basses plaines de l'avant-pays n'ont été mis en place, pour une large part, qu'à la fin du Würm, alors que s'esquissaient peu à peu les conditions sèches qui ont permis le dépôt des loess et les éolisations locales, il faut bien admettre que leur degré déjà net de différenciation ne doit que fort peu de chose aux épisodes froids et humides de la première partie du Würm. C'est donc sous les climats postglaciaires, relativement modérés et proches de l'actuel, que les dépôts würmiens ont acquis l'essentiel de leurs caractères.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Il est clair que, dans les nappes antérissiennes, le degré de colmatage poussé des horizons II Btg accroît l'effet des processus d'hydromorphie secondaire.

D'ores et déjà la notion de "sol-climax", de sol "en équilibre" avec des conditions bioclimatiques données, semble prise en défaut et apparaît comme beaucoup trop statique, en ce sens qu'elle ne fait pas intervenir le concept de durée de l'évolution pédologique. En l'occurrence, et pour le seul Postglaciaire, on a vu que c'est 8 000 à 10 000 ans au moins qui ont été nécessaires pour assurer le développement de sols de type généralement brun lessivé, à partir de limons molassiques originellement calciques ou calcaires, et dans des conditions climatiques peu différentes de celles qui règnent aujourd'hui dans la région.

A l'échelle des temps quaternaires, tout se passe donc comme si l'évolution des limons s'était poursuivie de façon continue et sans rupture majeure d'un stade de différenciation à un autre. En particulier, on n'y retrouve pas la trace des épisodes froids et humides qui ont sans doute caractérisé une large partie du Riss et du Würm dans le piémont garonnais et ariégeois. A cela, une raison essentielle, semble-t-il : la nature des limons.

C'est que les roches-mères limono-argileuses constituent en effet un matériel spécifique qui impose à la pédogénèse son style particulier : pour peu que, dans une large gamme de conditions bioclimatiques, l'humidité soit suffisante, l'évolution du sol suit presque toujours le même chemin et converge le plus souvent vers un type de sol à profil lessivé et hydromorphe. Même dans les régions à climat et couverture végétale réputés favorables à la podzolisation (et on pense ici essentiellement à la grande forêt boréale de Conifères du nord-est de l'Europe, par exemple),

les profils à morphologie de podzol caractéristique (1) ne se développent que très exceptionnellement sur les matériaux limoneux (2) et revêtent à tout prendre l'aspect d'un sol lessivé hydromorphe (3). Ainsi en est-il du reste dans la taïga à Epicéa, Sapins et Mélèzes qui drape le piémont nord de l'Altaï, en Sibérie occidentale : malgré la présence d'un horizon Ao à mor, très acide et fortement désaturé, les profils, développés dans des dépôts limoneux attribués à un Quaternaire moyen, s'apparentent plus ou moins à des sols lessivés hydromorphes (V. M. KORSOUNOV, 1970; J. HUBSCHMAN, 1971 c) (4). En fait la différenciation en horizons caractéristiques de la podzolisation (A_2 cendreux ou B spodiques, notamment) ne se manifeste réellement que sur des matériaux très filtrants, acides et pauvres en argile : à ce titre, les podzols de la forêt boréale de Conifères, avant d'être des sols "climatiques", représentent d'abord et surtout des formations liées aux dépôts morainiques et fluvio-glaciaires sableux abandonnés par les glaces quaternaires.

On ne peut donc s'étonner outre mesure que les épisodes froids et humides des périodes glaciaires n'aient guère laissé

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) C'est-à-dire, comportant notamment un horizon d'accumulation humique plus ou moins distinct en profondeur.

(2) S. V. ZONN, communication orale.

(3) Tels apparaissent du moins les "profils collés" présentés au Musée des Sols Williams de Moscou.

(4) Malheureusement, la terminologie utilisée par les pédologues soviétiques entretient la confusion : ainsi, les sols lessivés sont-ils aujourd'hui encore qualifiés par eux de podzols, sols podzoliques ou podzolisés, voire de pseudo-podzols (I. P. GUERASSIMOV, 1959; A. A. RODE, 1964; S. V. ZONN, 1970).

de marques spécifiques dans les sols du piémont garonnais et ariégeois, dès lors que les couvertures limoneuses qui en constituent la roche-mère ne pouvaient, par nature, engager la pédogénèse dans une voie autre que celle définie par la séquence évolutive classique des sols de limons. Certes, il est probable que, dans l'hypothèse où un manteau végétal plus ou moins dense occupait couloirs alluviaux et coteaux de Terrefort (1), des horizons à humus brut, éventuellement assortis de minces horizons cendreux A_2 sub-superficiels (2), aient pu s'édifier en surface, durant ces périodes. Mais, faute sans doute d'avoir été enfouis sous des épandages limoneux ultérieurs, ces horizons superficiels auront rapidement disparu par la suite, notamment sous les climats plus doux du Riss-Würm et du Postglaciaire.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Manteau végétal dont on ne peut, faute de données paléobotaniques, préciser ni la nature, ni la densité : à tout le moins est-il possible d'imaginer, par analogie avec les travaux conduits en Dordogne ou dans le Midi méditerranéen (F. BORDES et al., 1966; J. L. VERNET, 1967, 1972; M. T. MORZADEC-KERFOUN, 1969; A. PONS, 1969; M. VAN CAMPO, 1969), des peuplements arborés plus ou moins lâches selon les lieux et les époques, où les Conifères et en particulier le Pin sylvestre, devaient jouer un certain rôle.

(2) Analogues en cela à ceux qui caractérisent les sols lessivés podzoliques observés aujourd'hui localement sous la chênaie acidiphile résiduelle.

En définitive, même si, comme il est probable, les limons antéwürmiens ont pu, durant les périodes froides, évoluer plus rapidement et plus énergiquement qu'ils ne l'auraient fait sous des climats moins rigoureux, il s'avère pratiquement impossible de faire la part entre ce qui, d'un côté, traduit un certain héritage périglaciaire, et, de l'autre, procède directement de cette sorte d'" auto-développement" des sols qu'expriment les séquences évolutives, liées à la durée de l'évolution et à l'intervention plus ou moins précoce des processus d'hydromorphie. Les arguments d'ordre pédologique, on le voit, sont ici d'un bien faible recours : seules, les faunes froides, l'avancée des glaces en bordure des Pyrénées et, dans une moindre mesure, les constructions alluviales rissienne et würmienne, témoignent indiscutablement de la réalité des périodes glaciaires et, par voie de conséquence, laissent présumer l'existence de climats froids dans l'ensemble du piémont pyrénéen.

De la même façon, l'empreinte de conditions climatiques plus chaudes, que pourraient laisser supposer les faunes chaudes, généralement rapportées aux périodes antérissiennes, n'apparaît guère mieux dans les profils limoneux. Les limons rubéfiés (1) sont exceptionnels et, le cas échéant, toujours issus d'un remaniement local de la matrice des graves alluviales sous-jacentes. Les

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Si du moins on accorde une certaine signification paléoclimatique à la rubéfaction, problème sur lequel on reviendra dans les pages suivantes.

minéraux de la famille de la kaolinite sont rares et guère plus abondants que dans la molasse, sauf dans certains cas, notamment lorsque les limons, une fois encore, remanient les matériaux caillouteux (1).

Reste que, dans les basses plaines de l'avant-pays, certains faciès de ségrégation du calcaire peuvent être interprétés comme des paléocaractères, hérités de la phase sèche du Würm.

C - Les formes de concrétionnement du calcaire et l'épisode sec de la seconde partie du Würm

L'existence des ségrégations calcaire a été évoquée à plusieurs reprises dans les chapitres précédents : aussi se bornera-t-on à quelques observations complémentaires. Rappelons tout d'abord que ces faciès n'apparaissent que dans certaines formations würmiennes : placages loessiques et, localement, alluvions des basses plaines de l'avant-pays, notamment à l'aval de Toulouse. Ils se retrouvent également dans le Terrefort molassique, sous les horizons Bt des sols de plateaux : c'est précisément la présence de ces éléments concrétionnés qui nous avait conduit à attribuer

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On évoquera un peu plus loin le cas des horizons à grep et des cuirasses ferrugineuses. On tentera aussi d'expliquer pourquoi, dans les limons anciens, les minéraux kaoliniques sont rares, alors que les matrices des graves antérissiennes en sont bien plus largement pourvues.

le dernier façonnement effectif des replats molassiques à un épisode morphogénique légèrement antérieur à la phase sèche du Würm.

a) Esquisse typologique

On peut dresser un rapide tableau des principaux faciès de concentration du calcaire, tels qu'ils s'observent aujourd'hui dans les dépôts würmiens ou les sols du Terrefort. On distinguera essentiellement :

- des ségrégations non concrétionnées, pulvérulentes : pseudomycélium, spots minuscules et amas poudreux de taille très variable;

- des ségrégations plus ou moins indurées, mais à caractère non ou faiblement cristallin : tubes et éléments cylindriques généralement creux, cohérents mais facilement brisables, suggérant la fossilisation d'anciennes racines (ou d'anciennes voies de passage racinaires) par le calcaire, de taille diverse; nodules sphéroïdes farineux assez durs à l'état sec, friables à l'état humide, de diamètre rarement supérieur à 1 ou 2 cm;

- des éléments de croûte feuilletée, peu épaisse (quelques centimètres), trés délabrée et discontinue, souvent tendre et friable, fréquemment associée à de minces lits de calcaire à faciès tuffeux (limons calcaires des basses plaines);

- des cimentations locales et discontinues de la partie supérieure des alluvions caillouteuses, conduisant à des faciès de type poudingue, généralement peu consolidés, parfois nettement indurés;

- des ségrégations fortement concrétionnées, très dures et à caractères nets de cristallisation : poupées contorsionnées et nodules sphéroïdes, de taille variable mais pouvant atteindre fréquemment 10 cm de long et 5 cm de diamètre, presque toujours creux et offrant alors des figures de rétraction caractéristiques. Ces concrétions sonnent clair sous le marteau; en lame mince, les cristaux de calcite apparaissent soit coalescents, soit noyés dans une pâte crypto-cristalline rosâtre traversée de plages plus sombres ou de couleur plus vive (amas d'argile et de fer). Dans de nombreux cas (notamment dans les limons des basses plaines et les sols molassiques), ces éléments cristallisés sont soit revêtus extérieurement d'une gaine calcaire poudreuse, soit franchement altérés sur leur périphérie en un cortex pulvérulent, d'épaisseur variable. A la limite, le pourrissement est presque général : poupées et nodules sont alors devenus friables et farineux dans leur ensemble et seules certaines zones centrales ayant échappé à l'altération témoignent encore du degré de cristallisation initial de ces concrétions.

Pour l'essentiel, il s'agit donc de phénomènes de concentration du calcaire sous forme discontinue, friable ou cristallisée, qui n'évoquent que de très loin les puissantes accumulations qui caractérisent les sols à profil calcaire différencié des régions arides et semi-arides (A. RUELLAN, 1967, 1970).

b) Esquisse interprétative

Il n'est pas douteux que certaines formes de ségrégation du calcaire peuvent se développer dans une large gamme de condi-

tions bioclimatiques, en particulier sous celles, relativement humides et douces, qui règnent de nos jours dans la plus grande partie de l'Europe tempérée. Des horizons à concrétions calcaires cohérentes s'observent ainsi fréquemment dans les milieux hydromorphes, notamment à la limite inférieure des anmoors calciques qui caractérisent certains gleys fonctionnels (P. DUCHAUFOUR, 1970) et, plus généralement, chaque fois qu'un profil riche en carbonates est soumis aux battements d'une nappe d'eau libre ou perchée. Mieux, le simple jeu de l'alternance humectation-dessiccation d'un matériau initialement calcaire permet sans doute d'expliquer la genèse de concentrations calcaires plus ou moins bien individualisées, et ce d'autant mieux que le climat comporte une saison relativement sèche.

De fait, les limons très récents qui tapissent le lit majeur de la Garonne montrent parfois de discrets faciès à pseudomycélium (ainsi, près de Verdun-sur-Garonne) et même, localement, quelques amas pulvérulents de taille centimétrique (méandre de Carbonne). On est donc en droit de supposer que nombre de ségrégations calcaires peu consolidées et faiblement cristallisées ont pu se développer (1) depuis le début des temps postglaciaires, pour peu que les conditions stationnelles aient été favorables. Ainsi en est-il dans les basses plaines würmiennes de l'avant-pays, particulièrement là où les alluvions caillouteuses, peu épaisses, sont soumises aux battements de la nappe d'eau supra-molassique.

- - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Et continuent sans doute à se développer de nos jours.

Le contact limon-grave constitue alors une zone préférentielle de précipitation du calcaire et ce d'autant mieux que la base des limons présente une certaine hétérogénéité granulométrique : lits sableux, minces lentilles de graviers et gravillons, par exemple. Faciès tuffeux discontinus, tubes racinaires, éléments de poudingues à ciment grossier, voire fragments de croûte feuilletée friable peuvent donc prendre naissance dans ces conditions, à partir du calcaire préexistant dans les limons (1) et des solutions bicarbonatées charriées par les nappes d'eau, sous l'effet conjugué de l'évapo-transpiration saisonnière, de la succion racinaire et des battements phréatiques.

Il reste que l'abondance et les propriétés des poupées et nodules calcaires fortement cristallisés qui s'observent dans les dépôts würmiens ne peuvent être envisagées que dans une perspective paléoclimatique et postulent l'existence de conditions bioclimatiques globalement peu humides et à longues saisons sèches marquées :

- d'une part, la taille de certains éléments, leur état de cristallisation et leur dureté, les nombreuses fentes de retrait radiales qui les traversent, plaident à elles seules en faveur d'une sécheresse du climat bien plus accentuée qu'elle ne l'est aujourd'hui. Sans doute cette aridité n'était-elle pas absolue, puisqu'aussi bien précipitation et cristallisation du calcaire impliquent une mise en solution et une mobilisation préalables. Sans doute aussi, comme l'a d'ailleurs signalé G. ASTRE (1972) à propos des loess, ces

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Et aussi du calcaire provenant du lessivage des horizons supérieurs, premier processus de la pédogénèse postglaciaire.

concrétions n'ont-elles pu prendre naissance que là où des plans de discontinuité , (fissures de retrait, limites de stratification, canaux racinaires, par exemple) permettaient la circulation de l'eau bicarbonatée à l'intérieur du dépôt, puis la précipitation du calcaire là où les conditions étaient les plus propices : zones de blocage de l'écoulement, aération relative des solutions, en liaison avec une granulométrie plus grossière, points de succion racinaire maximale ... Toujours est-il que la genèse de ces concrétions suppose l'existence de très vifs contrastes d'humectation et de dessiccation dans la masse des dépôts et implique l'intervention, durant une phase climatique suffisamment longue, de périodes sèches prolongées succédant à de brèves saisons humides;

- d'autre part, le caractère relique de ces concrétionnements semble manifeste. Ils ne gardent en effet leur aspect initial que dans certaines zones profondes des épais placages loessiques, lesquelles échappent aujourd'hui pour l'essentiel à l'action des eaux percolantes (1). Presque partout ailleurs, en revanche, là où l'eau circule largement dans la masse des limons würmiens des basses plaines ou des sols de molasse, les concrétions dures paraissent en voie de dégradation ou de "fossilisation", soit qu'elles tendent à devenir pulvérulentes et crayeuses, soit qu'elles s'enveloppent

- - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) En fin de printemps, qui est la saison la plus humide dans la région, de larges plages des profils loessiques restent absolument sèches, dès une profondeur de 2 à 3 m environ sous la surface des affleurements : ceci a pu être vérifié au cours de 4 années consécutives. En revanche, dans les poches ou les fissures atteintes par l'humectation, nodules et poupées offrent le même aspect friable superficiel que dans les limons des basses plaines ou dans les sols des replats molassiques.

d'une couche plus ou moins épaisse de calcaire poudreux issu, pour une part au moins, du lessivage des horizons supérieurs.

Au total, ces faciès concrétionnés semblent revêtir une signification analogue à celle des placages loessiques et des éolisations qui affectent localement les basses plaines würmiennes de l'avant-pays et témoignent des conditions sèches et sans doute encore froides qui ont régné dans la région au cours de la seconde partie du Würm. Probablement est-ce à cette époque que certaines formations cryoclastiques qui drapent les versants de la bordure pyrénéenne ont acquis leur caractère de cimentation par le calcaire.

Cela signifie-t-il pour autant que, parmi tous les épisodes climatiques qui se sont succédé depuis le début du Quaternaire, seule la fin du Würm a connu des conditions de sècheresse relativement bien marquées ? Malgré l'absence de phénomènes d'éolisation antéwürmiens clairement exprimés, rien n'est moins sûr : ainsi, par exemple les puissantes brèches calcaires litées du Roc de Sedous semblent avoir été recouvertes par la glace (F. TAILLEFER, 1969 c) et témoignent peut-être d'une phase sèche rissienne. De la même façon, on verra dans les pages suivantes que la mise en place des remblaiements antérissiens peut être envisagée dans la perspective de climats à tendance plus ou moins aride.

Reste que, dans les nappes antérieures au Riss, ce ne sont pas tant les indices de climats xériques qui retiennent l'attention que ceux, plus diversifiés, qui pourraient traduire l'effet de

de conditions plus chaudes qu'aujourd'hui : ainsi en est-il des modalités de l'évolution géochimique du fer et, en particulier des phénomènes de rubéfaction et de cuirassement.

2 - L'EVOLUTION DU FER DANS LES NAPPES DETRITIQUES

A - La rubéfaction : un très médiocre indicateur paléoclimatique

La rubéfaction qui affecte les nappes graveleuses antérissiennes et, en particulier, les horizons supérieurs des cailloutis, n'est pas un phénomène toujours très facile à caractériser. C'est qu'il s'agit ici de nappes généralement colmatées et, de ce fait, soumises aux effets de l'hydromorphie, qui a pour corrollaire une intense redistribution du fer. Aussi, comme on l'a souligné dans un chapitre antérieur (1), la couleur représente-t-elle un élément extrêmement variable dans l'espace et au sein d'un même profil : on a évoqué, à cet égard, la mosaïque de couleurs qu'offrent les alluvions antérissiennes et l'infinité des nuances qui s'y révèlent.

Il demeure cependant que, dans l'ensemble, les plages non déferrifiées de ces formations montrent une coloration plus vive et plus proche des teintes rouges que les nappes rissiennes et würmiennes. La rubéfaction n'est toutefois pas très intense puisque, la plupart du temps, les plages colorées se tiennent entre les rubriques 7,5 Y R et 5 Y R du code Munsell, et n'atteignent qu'exceptionnellement 2,5 Y R, alors que, dans le Riss et le Würm, elles oscillent plutôt entre 7,5 Y R et 10 Y R.

---

(1) Cf. 2ème partie, chapitre VIII.

De la même façon existe-t-il une certaine relation entre les teneurs en fer libre ou, plus exactement entre les taux de libération du fer (1) et la couleur des horizons ou des profils. Ainsi, le rapport fer libre/fer total dépasse presque toujours 50 % dans les plages colorées des matrices antérissiennes; dans les nappes rissiennes et würmiennes, cette valeur est beaucoup plus souvent inférieure à 50 %, encore que les exceptions soient nombreuses, en particulier dans les formations rissiennes des basses vallées montagnardes (figure 46). Notons enfin que, rare dans le Würm, plus fréquente dans le Riss, la goethite caractérise assez généralement les matrices des nappes antérissiennes.

La question qui se pose est la suivante : dans quelle mesure ces faciès rubéfiés, relativement riches en oxydes et hydroxydes de fer, doivent-ils être considérés comme le témoignage d'épisodes antérissiens particulièrement favorables à leur développement ? On sait en effet que, traditionnellement, les processus de rubéfaction sont envisagés dans la perspective de climats relativement chauds et humides, mais à saisons sèches suffisamment marquées, propices à la fois à une altération poussée des minéraux ferrugineux primaires et à une immobilisation du fer sous forme d'oxydes et d'hydroxydes, responsables de la couleur plus ou moins rouge qui marque nombre de profils fersiallitiques ou ferrallitiques de la zone intertropicale et subtropicale.

---

(1) En fait, il s'agit plutôt du taux d'extraction du fer par des solutions complexantes ou réductrices, comme dans le cas de la méthode DEB.

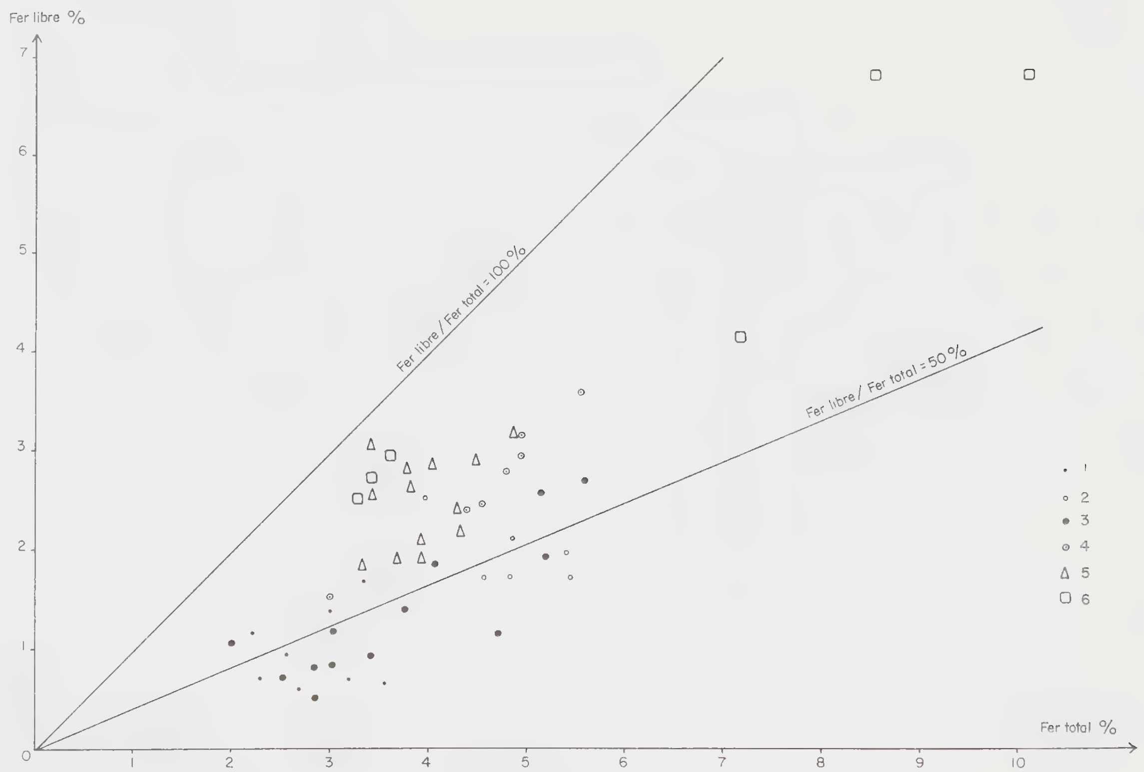

Fer libre %
Fer total %
Fer libre / Fer total = 100 %
Fer libre / Fer total = 50 %
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1
2
3
4
5
6

FIGURE 46

Figure 46 - Fer libre, fer total et taux de libération du fer dans les nappes graveleuses

- 1 . Nappes würmiennes de l'avant-pays - 2. Nappes würmiennes des basses vallées montagnardes - 3. Nappes rissiennes de l'avant-pays 4. Nappes rissiennes des basses vallées montagnardes - 5. Nappes mindéliennes et günziennes - 6. Nappes culminantes du Donau.

Dans les alluvions colmatées, seules les plages non déferrifiées ont été prises en considération.

Le fer total, exprimé en Fe-métal, se tient généralement entre 2 et 5,5 %, sauf dans certains horizons très riches des nappes du Donau. Les rapports fer libre/fer total sont très variables, même à l'intérieur d'un même profil. Ils sont presque toujours nettement supérieurs à 50 % dans les nappes antérissiennes, beaucoup plus souvent inférieurs à cette valeur dans le Riss et le Würm, sauf dans les basses vallées montagnardes.

Aussi la plupart des formations superficielles rubéfiées, observées aujourd'hui dans la zone tempérée et même, pour certains, dans le domaine méditerranéen, sont-elles considérées encore le plus souvent comme des formations reliques. Ainsi en est-il, par exemple, pour les Terra rossa méditerranéennes (B. GEZE, 1947; P. DUCHAUFOUR, 1970), les sols fersiallitiques du type ferreto, développés dans les alluvions anciennes du piémont alpin, de la vallée du Rhône et du Languedoc (P. MARCELIN, 1947; E. BONIFAY, 1957; P. GABERT, 1962), les sols rouges d'Afrique du Nord (G. GAUCHER, 1947; G. CHOUBERT et al., 1956; A. PUJOS, 1957; J. H. DURAND, 1959; R. RAYNAL, 1961). Sur le piémont pyrénéen, H. ALIMEN (1964) admet implicitement que les nappes rubéfiées résultent de l'effet spécifique des climats antérissiens; dans le domaine garonnais, enfin, J. TRICART et al. (1966) interprètent également les faciès rubéfiés comme un héritage climatique des périodes antérieures au dépôt des alluvions récentes des basses terrasses et basses plaines.

Il ne peut être question de traiter ici, in extenso, du problème de la rubéfaction, véritable serpent de mer de la science du sol depuis trois quarts de siècle : un mémoire entier n'y suffirait d'ailleurs pas, tant la matière est abondante. Tout au moins nous bornerons-nous à quelques observations, dont le moins qu'on puisse dire est qu'elles ne permettent pas d'établir avec certitude les rapports entre la rubéfaction et l'action de bioclimats spécifiques.

a) Un ensemble de mécanismes complexes et encore mal connus

Sans doute la couleur vive des sols rubéfiés est-elle due, dans une large mesure, à la présence d'oxydes et hydroxydes de fer, surtout ferriques. Mais sous quelle forme précise ? Quelles sont les modalités de l'imprégnation du sol par les produits ferrugineux et les causes profondes du développement des couleurs rouges ? Quelle est la part des conditions climatiques globales dans ces processus ? Autant de points longuement débattus et maintes fois controversés (1).

On rappellera simplement que les théories anciennes, impliquant l'action de complexes ferro-ou ferrisiliciques ou organo-ferriques sous climats à saisons sèches et humides alternées, sont pratiquement abandonnées aujourd'hui (A. DEMOLON et al., 1944; A. REIFENBERG, 1947). En revanche, les recherches récentes tendent à attribuer aux sesquioxydes de fer à l'état amorphe, et dans des conditions de drainage suffisantes, un rôle majeur dans la rubéfaction des sols (M. LAMOUROUX, 1971). Toutefois, pour d'autres auteurs (M. DIMAS, 1969; J. C. REVEL, 1972), ce sont bien des produits cristallisés, goethites mais surtout hématites, qui, liés aux argiles, seraient responsables de la couleur rouge, du moins dans les sols rouges méditerranéens sur calcaire.

---

(1) On pourra se reporter à l'étude de P. BOTTNER et al. (1967), qui font le point de la question, et, pour tout ce qui concerne le fer dans les sols, à P. SEGALEN (1964).

L'interprétation des mécanismes fondamentaux et des causes premières de la rubéfaction reste donc encore très mouvante (J. BOULAINE, 1967). A tout le moins peut-on penser que la présence de produits ferrugineux en quantité suffisante dans les sols et un pédoclimat compatible avec l'existence de phases de dessication plus ou moins prononcée des profils, constituent deux conditions essentielles.

b) Les sols rouges sur calcaire cristallin : un faux problème

En fait, le problème de la rubéfaction a été souvent mal posé, en ce sens que nombre de travaux ont porté et portent encore très largement sur des sols issus de roches calcaires dures ou de leurs produits de remaniement.

Il semble bien, en effet, que nombre de calcaires cristallins libèrent spontanément, et ce dans une large gamme de conditions bioclimatiques, des produits meubles relativement riches en fer et plus ou moins nettement colorés en rouge. A cet égard, M. DIMAS (1969) et J. C. REVEL (1972) ont bien montré que la dissolution expérimentale de roches calcaires cristallines aboutissait la plupart du temps à un résidus rubéfié, de teinte analogue et comportant les mêmes substances ferrugineuses que les sols développés sur ces matériaux.

De fait, il existe une remarquable convergence de la pédogénèse sur roches calcaires dures à l'échelle du globe. Ainsi, hors du domaine proprement méditerranéen, et pour ne pas parler

de la zone intertropicale, les formations rouges sur calcaire constituent une règle assez générale dans toute l'Europe tempérée humide. Toutes les régions de causses, tous les affleurements de roches calcaires plus ou moins dures, parfois même en plein étage montagnard humide, montrent peu ou prou des manteaux meubles rubéfiés, en place ou glissés sur les pentes, assortis ou non d'éléments grossiers, remblayés dans les dépressions karstiques ou repris et étalés dans les terrasses alluviales. Immense catégorie des rendzines rouges, aux innombrables appellations vernaculaires, tapissant les plateaux secondaires ou tertiaires du Jura, de Bourgogne, des Charentes, du Quercy, des Causses; argiles rouges de décalcarisation du plateau de Sault, au climat humide et couvert de sapinières, des chaînons prépyrénéens du Plantaurel et des Petites Pyrénées, rutilance des argiles obstruant grottes, fissures, dolines et lapiez dans les calcaires urgo-aptiens de la couverture secondaire nord-pyrénéenne ... Les faciès rubéfiés sont légion, bien que moins fréquents et souvent moins caractéristiques que ceux des régions méditerranéennes, par exemple. C'est que, d'une part, le bassin méditerranéen se trouve être particulièrement riche en formations calcaires de tous âges et que, d'autre part, les climats à saison sèche marquée sont plus favorables à une meilleure conservation de certains caractères pédologiques liés à la roche-mère : dans les régions tempérées humides, la densité du couvert végétal et l'abondance de matière organique qui en résulte, l'hydratation du fer impliquée par un pédoclimat globalement plus humide, expliquent la fréquente "brunification" des profils, qui masque en quelque sorte la couleur originelle du sol, et ce d'autant mieux que sous climat à tendance xérique, les horizons superficiels brunifiés sont bien plus réduits sinon, plus souvent encore, décapés par l'éro-

sion (1).

Aussi, dans le bassin méditerranéen, l'abondance de terres rouges et autres Terra rossa, la fréquence des profils rubéfiés dans les nappes alluviales, ne doit pas faire illusion : elles traduisent avant tout la propriété spécifique des roches-mères à libérer "naturellement" des produits rubéfiés, plus qu'elles n'expriment réellement le pouvoir "rubéfiant" des climats méditerranéens (2).

On peut d'ailleurs s'interroger sur la cause profonde de cette rubéfaction "naturelle" des roches calcaires dures (3). Ainsi, le résidus insoluble libéré par la décalcarisation, et sans doute déjà préalablement rubéfié au sein même de la roche, pour-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Observations qui n'avaient d'ailleurs pas échappé à certains auteurs, B. GEZE (1947) en particulier.

(2) Il existe cependant des sols rouges méditerranéens, sur roche-mère non calcaire, notamment sur schistes (J. HUBSCHMAN, 1967, 1971 a; A. RUELLAN, 1970; J. R. DESAUNETTES, 1971). Mais, là encore, il s'agit bien souvent de matériaux riches en fer et qui, on l'a vérifié pour les schistes siluriens des Béni-Snassen, au Maroc, donnent une fois pulvérisés au laboratoire, des produits nettement rubéfiés.

(3) Sur calcaire tendre et surtout sur marnes, le développement de la rubéfaction est limité, en raison notamment de la faible perméabilité de ces roches et de l'hydration du fer qui en résulte, et aussi, sans doute, de l'excès de carbonates et d'ions Ca^{++} qui bloquent l'évolution du fer. Les sols à tendance vertiques y sont fréquents.

rait être interprété dans l'optique de la biorhexistasie de H. ERHART (1956, 1967). Il représenterait alors les "impuretés" (fer et argile, notamment) accompagnant la phase soluble migratrice et témoignant par là de l'imperfection du "filtre forestier", lors des épisodes biostasiques "tropicaux" responsables, selon cet auteur, de la formation des sédiments calcaires marins(J. HUBSCHMAN, 1971 a; J. C. REVEL, 1972) (1). Plus simplement, peut-être, doit-on penser que la présence de quantités notables de fer, concentrées sous forme amorphe ou cristallisée dans les résidus solides au cours de la décarbonatation, combinée au pédoclimat globalement assez sec fréquemment réalisé sur roche calcaire dure, est à l'origine de ce phénomène de rubéfaction quasi-spontanée.

Quoiqu'il en soit, un fait semble désormais acquis : aujourd'hui encore, la rubéfaction se développe activement, non seulement en région méditerranéenne (J. HUBSCHMAN, 1967; M. LAMOUROUX 1971), mais sans doute aussi, quoique de façon moins apparente, dans le domaine tempéré humide. Ainsi sur la bordure nord-pyrénéenne, les matelas de grèzes, d'âge probablement würmien, portent bien souvent des rendzines plus ou moins rubéfiées, comme c'est d'ailleurs le cas pour les pointements calcaires, largement raclés par les glaciers rissiens et würmiens, qui affleurent dans le bassin de Barbazan.

- - - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) En fait, la grande diversité des minéraux argileux inclus dans les roches calcaires et, en particulier, l'absence ou les faibles proportions de kaolinite (G. MILLOT, 1964; C. E. WEAVER, 1959) ne permettent pas d'authentifier à coup sûr l'hypothèse de climats "tropicaux" sur les continents, lors des phases biostasiques.

Autant dire que, dans ces conditions, toute reconstitution paléoclimatique fondée sur la couleur rouge des dépôts issus de l'altération de calcaires durs nous semble parfaitement vaine. On pense ici particulièrement à nombre de travaux portant sur les remplissages de grottes (E. BONIFAY, 1955, 1956; H. de LUMLEY, 1965; J. C. MISKOVSKY, 1971) ou les formations cryoclastiques (J. DUCLOUX et al., 1970), dont les conclusions sont évidemment sans valeur quant à la signification donnée à la rubéfaction (1).

c) Le développement des faciès rubéfiés dans les nappes alluviales : un phénomène lié à l'altération globale et aux modalités de l'hydromorphie

Si l'on considère maintenant les nappes détritiques du piémont garonnais et ariégeois, il faut d'abord constater que, dans l'ensemble, elles ne comportent que fort peu de matériaux calcaires cristallisés à l'origine : aussi sont-elles effectivement bien moins rubéfiées que leurs homologues du Languedoc, de la vallée du Rhône, ou du Lot, par exemple.

Cela dit, il convient de remarquer aussi que si les faciès à horizons vivement colorés n'apparaissent véritablement qu'à

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Rappelons que c'est pour des raisons analogues que nous avons exprimé les plus sérieuses réserves à l'égard de la séquence paléoclimatique, désormais classique, du Quaternaire marocain, qui est à base de climats "rubéfiants" (J. HUBSCHMAN, 1967, 1971 a).

partir du Mindel, les horizons graveleux de nappes plus récentes ne sont pas pour autant respectés par l'évolution du fer. Au contraire, et sans même évoquer le cas des basses vallées montagnardes (1), on a bien montré que, dans l'avant-pays, les alluvions rissiennes offraient généralement une nette couleur rouille tandis que, dans le Würm des basses plaines, les matrices de teinte plus ou moins ocrée étaient la règle au-dessus du front d'altération. C'est là, sans aucun doute, l'indice que les faciès à tendance rubéfiée se développent et se renforcent avec le temps, parallèlement à une certaine libération du fer à partir des minéraux primaires, elle-même corrélative de l'altération globale.

Mais on ne peut non plus ignorer un fait capital : le régime hydrique qui caractérise les nappes alluviales, exerce une influence considérable sur le fer et, partant, sur la coloration des profils. Dans les graves postmindéliennes, les teneurs en particules fines des matrices sont généralement peu élevées : il en résulte un drainage relativement rapide des profils, qui ne revêtent un aspect hydromorphe (marmorisation à bandes grisâtres et bandes rouille) que là où ils sont soumis aux battements de la nappe phréatique supra-molassique (dans l'avant-pays, tout au moins). En revanche, les alluvions antérissiennes, argilisées et colmatées, sont régulièrement hydromorphes. L'eau y circule suivant des voies

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Où, on s'en souvient, les nappes que nous avons attribuées au Riss sont souvent assez nettement rubéfiées.

préférentielles dont la localisation et la disposition sont commandées essentiellement par la pente générale et la granulométrie des dépôts (1). D'où l'intense redistribution du fer qu'y s'y observe : expulsé des plages grises déferrifiées, celui-ci s'accumule plus ou moins largement sur leurs marges, par simple diffusion, et finit par y constituer des zones d'autant plus riches en fer et plus rubéfiées que l'hydromorphie et, partant, le balayage localisé du fer, sont plus poussés. Les fortes teneurs en fer libre et total qui caractérisent certains horizons très colorés des nappes antérissiennes, et notamment des alluvions du Donau, n'ont sans doute pas d'autre origine, si l'on en juge du moins par l'extrême pâleur et la pauvreté en fer des bandes grises qui traversent ces horizons.

Ajoutons à cela que ce n'est pas par hasard si le sommet des nappes graveleuses argilisées comporte souvent les plages les plus rubéfiées et les plus enrichies en fer. D'une part, c'est dans cette partie du profi' que l'altération globale est la plus forte et libère un maximum de fer. D'autre part, l'argilisation très poussée se double bien souvent d'un phénomène d'enrichissement en argile illuviale, provenant du lessivage des couvertures limoneuses : d'où un colmatage accentué de ces horizons et l'intense

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Si l'on en juge par l'allure des bandes de "dégradation" décrites antérieurement, la percolation de l'eau offre une nette composante oblique ou sub-horizontale, en relation avec la pente générale des remblaiements.

redistribution du fer qu'elle entraîne. Enfin, c'est à ce niveau que les battements de la nappe d'eau perchée dans les alluvions se produisent avec le plus de vigueur, puisque le sommet des graves est relativement proche de la surface du sol, et, comme tel, soumis aux effets de l'évapo-transpiration saisonnière.

D'où la confusion inévitable entre faciès "rubéfiés" et faciès de redistribution du fer liés à l'hydromorphie. De fait, là où, pour des raisons locales, se combinent faible argilisation des matrices (éléments cristallins originellement peu abondants : cas fréquents en Lomagne du nord) et drainage suffisant (bordure de vallon), les contrastes de couleurs sont beaucoup moins vifs entre plages grises et plages non déferrifiées. Dans ces dernières, la couleur reste relativement terne, à tendance brun-rouille, et n'est guère beaucoup plus vive que celle qui, se tenant aux environs de 7,5 Y R, ressortit à maints profils rissiens.

En dernier lieu, il convient de rappeler que la présence de goethite, hydroxyde relativement fréquent dans les nappes antérissiennes, ne peut guère être considérée comme un élément déterminant, puisqu'aussi bien ce minéral est extrêmement courant et observé presque partout à la surface du globe (P. SEGALEN, 1964). Certes, la goethite est moins répandue, on l'a vu, dans les formations postmindéliennes, et notamment dans le Würm de l'avant-pays. Mais, s'il est vrai que la cristallisation du fer en goethite traduit une sorte de "vieillissement" spontané de gels d'hydroxydes, on peut penser que ce processus ne fait que s'amorcer dans les nappes würmiennes, au demeurant encore pauvres, le plus souvent,

en fer libre (1).

En conclusion, force est bien de constater que la couleur imprimée aux profils par les modalités de l'évolution du fer représente un fort médiocre critère paléoclimatique. D'une part, en effet, la rubéfaction n'est pas un phénomène strictement limité aux nappes antérissiennes et semble se développer progressivement avec le temps : déjà en germe dans le Würm, elle est manifeste au sein de nombreux profils rissiens. D'autre part, faciès "rubéfiés" et faciès de redistribution et d'accumulation du fer, liés à l'hydromorphie, se mêlent inextricablement dès le stade des nappes colmatées du Mindel. Il n'est donc pas possible d'interpréter véritablement les faciès rubéfiés comme des caractères rélictuels témoignant d'épisodes climatiques spécifiquement propices à leur genèse, d'autant que l'hydromorphie et la redistribution du fer qu'elle implique se poursuivent activement de nos jours. On reviendra cependant quelque peu sur cette question ultérieurement, d'autant plus que, comme on va le voir, concrétionnement et cuirassement du fer soulèvent des problèmes identiques.

---

(1) Comme l'a rappelé M. ICOLE (1973), commentant les travaux de M. SCHWERTMANN (1966), il semble que la matière organique joue un rôle important : soit qu'elle inhibe la cristallisation du fer, soit qu'elle conduise à une sorte de "décristallisation". Ainsi s'expliquerait et l'inégale distribution de la goethite dans les graves et son absence assez générale dans les couvertures limoneuses. Le fait que, dans ces dernières, les plages de couleur vive enrichies en fer soient nettement moins rougeâtres que dans les nappes graveleuses, traduit sans doute l'existence d'un milieu moins aéré (limons tassés) et d'un pédoclimat moins contrasté.

B - Greps et cuirassements ferrugineux : des concrétionnements de nappes banals

De la même façon que les faciès rubéfiés, greps et cuirassements ferrugineux représentent-ils des reliques significatives, des paléocaractères "de type subtropical" (J. TRICART et al., 1966), élaborés au cours des périodes anciennes du Quaternaire (R. BRUNET, 1965) ? De fait, les greps les plus consolidés, les éléments de cuirasse les plus épais et les plus durcis, ne s'observent incontestablement que sur les niveaux antérissiens : ceci pourrait donc être l'indice que, depuis le Riss, les conditions bioclimatiques n'ont pas été très favorables aux phénomènes de concrétionnement du fer.

En réalité, le problème est loin d'être aussi simple et plusieurs points doivent être pris en considération.

- D'une part, si l'on dresse un rapide tableau des formes de concentrations ferrugineuses et de leur répartition (tableau 18), on constate l'existence de concrétionnements du fer à tous les niveaux du Quaternaire. Même dans les dépôts très récents des lits majeurs ou des fonds de vallons du Terrefort, concrétions rondes et noires, revêtements et épigénisations ferromanganiques se développent facilement là où prévalent des conditions de pseudogley. C'est là du reste une observation parfaitement banale : en milieu hydromorphe et sous tous les climats suffisamment humides, le concrétionnement du fer, plus encore que celui du calcaire, représente un phénomène extrêmement courant.

- D'autre part, les concentrations ferrugineuses indurées ne sont manifestement pas l'apanage exclusif des alluvions antérissien-

Tableau 18 - Esquisse typologique sommaire des formes de concentration du fer

Types de concentration	Localisation dans les profils	Fréquence
Concentrations discontinues, non cuirassées :		
. Lâches : revêtements, concrétions, épigénisations, non jointifs, dispersés dans l'horizon ou le profil	Très variable, surtout contacts A2/Bt et limons/graves	Très répandus dans tous dépôts
. Denses ("grep tendre") : revêtements, épigénisations, concrétions très abondants, partiellement jointifs; pas de ciment interstitiel, horizon faiblement induré à l'état sec. Epaisseur courante : 10 à 20 cm.	Contact limons/graves ou lentilles de graviers des Bt	Postwürm : exceptionnels Würm : assez peu fréquents; très répandus ailleurs
Concentrations continues, cuirassées :		
. Modérément cuirassées ("grep dur") : cailloutis, (graviers, gravillons), englobé dans un ciment argilo-ferrugineux hétérogène bariolé, fortement durci en surface, devenant plastique à faciès "grep tendre" en profondeur. Epaisseur courante : 10 à 20 cm.	Niveau de battement de nappe libre de bordure de cours d'eau Contact limons peu épais/graves	Postwürm : absents Würm : exceptionnels Riss : assez peu fréquents Mindel, Günz : abondants Donau et piémont : rares.
. Fortement cuirassées ("noyaux cuirassés") : Cailloutis soudé par un ciment homogène de couleur sombre, extrêmement dur, passant en profondeur à un faciès "grep dur" ou "grep tendre". Epaisseur courante : 20 à 50 cm.	Contact limons peu épais/graves	Extrêmement rares, uniquement dans le Mindel et le Günz.

nes : les greps durs ne sont pas rares sur les terrasses rissiennes et même, dans certaines conditions assez exceptionnelles, il est vrai, sur les terrasses würmiennes de l'avant-pays.

- Enfin, il existe une relation parfaitement claire entre les faciès de concentration du fer et les caractères hydrodynamiques des profils ou des horizons concrétionnés. Si l'on s'en tient aux seules dispositions alluviales, il faut bien constater que les ségrégations ne prennent naissance, le plus souvent, que là où les battements phréatiques se font le mieux sentir, c'est-à-dire au contact des horizons A_2 et Bt et, surtout, au contact entre limons et cailloutis. Précisément, greps durs et cuirasses se localisent strictement au sommet des alluvions graveleuses, et à condition que la couche de limon soit faible (1), faute de quoi l'accumulation devient plus lâche et revêt alors le faciès d'un grep tendre ou, plus souvent encore, d'une simple concentration discontinue. C'est que les battements phréatiques sont d'autant plus fréquents et mieux marqués que l'évapo-transpiration est vigoureuse : trop épaisse, la couverture limoneuse amortit sans doute considérablement les constrastes d'humidité saisonniers dans les horizons plus profonds (2). Par ailleurs, la granulométrie des dépôts ne reste pas sans

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. 2ème partie, chapitre VIII.

(2) A cela s'ajoute le fait que, dans le cas de limons peu épais, il y a coincidence entre horizon illuvial, enrichi en fer et argile par lessivage vertical, et horizon concrétionné : Btg et Bfe sont confondus dans la zone de battement de nappe.

effet : greps et cuirassements ne se développent pratiquement jamais dans les couches limoneuses fines et homogènes et requièrent un matériel riche en éléments grossiers, surtout de la taille des graviers et gravillons, comme cela se produit souvent au sommet des alluvions graveleuses, milieu particulièrement propice aux processus d'oxydation et de réduction alternés, véritable piège pour les solutions ferrugineuses (J. MALLET et al., 1956; J. C. BEGON, 1972). Aussi doit-on considérer que la genèse des noyaux cuirassés très épais et très consolidés, représente un cas très exceptionnel, réunissant en un point donné un ensemble de conditions privilégiées : topographie très plane ou légèrement dépressive concentrant les eaux de ruissellement (1), couche meuble superficielle très mince, abondance de graviers ou de galets de petite taille au sommet des alluvions caillouteuses colmatées ... D'où la grande rareté et l'extrême localisation de ces noyaux cuirassés, qui ne couvrent guère plus de quelques m2 d'un seul tenant. De fait, dans la vallée de la Garonne, ils n'apparaissent que dans

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Lors d'une première approche, nous avions cru pouvoir déceler l'amorce d'une distribution toposéquentielle des horizons concrétionnés par le fer, ces derniers se localisant alors de préférence à l'aval des toposéquences (bordure des talus de terrasses ou des vallons). En fait, il s'est avéré par la suite que ce phénomène ne revêtait pas un caractère de généralité suffisant et que la localisation des horizons concrétionnés traduisait d'abord et surtout les conditions de drainage et la disposition des dépôts. Toutefois, une cartographie systématique permettrait peut-être d'apprécier l'importance exacte de ce phénomène.

les secteurs les plus mal drainés du Günz (Forêt de Bouconne, plateau de Rieumes) et du Mindel (Saint-Clar-de-Rivière), à l'exclusion des alluvions du Donau, beaucoup mieux drainées par la multitude de vallons qui les entaillent.

Ainsi, greps durs et noyaux cuirassés peuvent donc être assimilés, pour l'essentiel, à des cuirasses de nappe, phénomène géochimique relativement banal mais facultatif, car strictement tributaire de conditions stationnelles précises, et faiblement dépendant des caractères bioclimatiques globaux. Certes, que ces faciès soient plus fréquents et beaucoup mieux développés dans les formations antérissiennes n'est pas douteux. Mais cela n'implique nullement l'intervention, au cours des périodes antérieures au Riss, de climats spécifiquement favorables à leur élaboration. C'est que, argilisées et colmatées, les alluvions graveleuses sommitales constituent un milieu autrement plus propice aux battements de nappe perchée et, partant, à l'importation, au dépôt et à la concentration du fer, que les cailloutis postmindéliens, beaucoup plus perméables (1). Dans les dépôts würmiens, seules des conditions tout à fait exceptionnelles peuvent conduire à la formation de véritables noyaux cimentés par le fer : ainsi à Poucharramet, dans la vallée du Touch, les alluvions bordières du cours d'eau, montrent des faciès concrétionnés à graviers, très durcis et de près de 20 cm d'épaisseur, tout à fait comparables aux greps

---

(1) Dans l'avant-pays, les graves rissiennes et, plus encore, würmiennes, sont très drainantes et autorisent la formation de nappes d'eau libre reposant sur le plancher molassique et beaucoup plus abondantes que dans les alluvions plus anciennes.

durs les plus caractéristiques (1).

Enfin, il est clair que, comme tout processus géochimique, et dans des conditions de milieu données, l'évolution du fer conduit à des ségrégations d'autant plus concentrées et indurées qu'elle se sera produite pendant plus longtemps : les greps durs des dépôts antérissiens ont, d'évidence, amorcé leur développement à une époque nettement antérieure à la mise en place des remblaiements würmiens et rissiens. Ils traduisent donc sans doute un certain héritage, mais pour une part seulement, puisque, on l'a vu, le concrétionnement du fer affecte manifestement des dépôts subactuels et se poursuit encore de nos jours.

En définitive, qu'il s'agisse de faciès rubéfiés ou d'horizons concrétionnés, l'évolution du fer dans les nappes alluviales du piémont garonnais et ariégeois ne permet pas d'établir avec certitude l'existence, au cours de l'une ou l'autre phase du Quaternaire, de paléoclimats spécifiquement favorables à ces phénomènes. L'analogie souvent constatée avec certains caractères couramment observés en zone tropicale ou subtropicale ne constitue pas en soi un argument décisif (2). En fait, on pressent déjà, à ce niveau, que rubéfaction et concrétionnement du fer ne sont que des épiphénomènes, qui ne s'épanouissent véritablement qu'à partir d'un certain stade d'évolution des profils, correspondant aux nappes

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Deux analyses y ont été faites : elles donnent respectivement 10,5 % et 13,3 % de fer total (fer-métal).

(2) On évoquera plus loin cette question.

argilisées et colmatées. En dernier ressort, c'est donc bien l'argilisation de la matrice des cailloutis antérissiens qui représente le fait majeur : cela revient à poser de façon plus générale, le problème de l'évolution des minéraux argileux dans les formations quaternaires du piémont garonnais et ariégeois.

3 - L'EVOLUTION GEOCHIMIQUE DES ARGILES

A - Héritage et transformations dans les couvertures limoneuses

Dans la seconde partie de ce travail, on a déjà eu l'occasion d'examiner les modalités de l'évolution des minéraux argileux dans les profils superficiels. On se bornera donc ici à rappeler brièvement les principales étapes de cette évolution.

a) Importance de l'héritage

Pour s'en tenir à l'avant-pays molassique, il est clair que les limons modernes ou déposés aujourd'hui encore par les crues, offrent un cortège de minéraux argileux très analogue à celui de la molasse : mélange complexe et mouvant à base d'illites, de chlorites et vermiculites, de montmorillonites et d'interstratifiés divers avec des proportions très variables mais toujours très subordonnées de kaolinites, que l'on observe aussi du reste dans les matériaux loessiques non lehmifiés, comme dans les horizons limoneux profonds des basses plaines (1).

---

(1) Nous avons montré que la montmorillonite des molasses aquitaines s'est probablement néoformée au cours des pédogénèses oligo-miocènes (F. CROUZEL et al., 1972).

Si l'on excepte les espèces les plus fragiles comme les montmorillonites, les chlorites "primaires" et certains interstratifiés, il faut bien convenir que ce stock originel se retrouve très largement dans les couvertures limoneuses quaternaires : la part d'héritage est donc manifeste (1). Toutefois, l'évolution de ce capital hérité est loin d'être négligeable à partir d'un certain stade de développement de la pédogénèse.

b) Dégradations et agradations

De fait, dès le stade des sols bruns lessivés, interviennent un certain nombre de modifications importantes. Elles portent d'abord sur des minéraux fragiles qui, comme les montmorillonites, disparaissent rapidement des profils ou s'estompent peu à peu dans les horizons supérieurs, selon que le milieu est plus ou moins acide. Mais elles concernent également des espèces plus résistantes qui, comme les illites, vont progressivement se dégrader au fur et à mesure que les conditions se font plus acides et les profils plus différenciés, d'où l'abondance relative de minéraux interstratifiés et de structures à 10-14 Å, dont certaines à pouvoir gonflant (G. MILLOT, 1964).

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cet héritage apparaît de façon plus claire encore, si l'on considère le cas des limons riches en kaolinites qui proviennent, on l'a vu, d'un remaniement de la matrice des graves antérissiennes.

Toutefois, le fait majeur, on l'a vu, est représenté par les phénomènes d'agradation des réseaux illitiques, qui se manifestent surtout à partir du stade des sols lessivés et se traduisent essentiellement par l'apparition massive de minéraux du type chlorites secondaires ou vermiculites - Al, lesquels dominent largement les profils.

Héritage et altérations ménagées caractérisent donc au premier chef l'évolution des argiles dans les couvertures limoneuses. Sans doute ne peut-on cependant exclure totalement la possibilité de minéraux néoformés : ainsi, par exemple, une certaine part d'illite ou de chlorite "primaire" provient-elle peut-être de l'altération des alumino silicates résiduels inclus dans les limons, notamment dans ceux qui drapent les basses vallées montagnardes, plus riches que l'avant-pays en minéraux primaires. Mais, quoiqu'il en soit, l'important reste que l'évolution des argiles dans les couvertures limoneuses ne permet pas de mettre en évidence une rupture majeure dans la pédogénèse quaternaire : hérités, transformés sinon néoformés, les minéraux argileux des limons ressortissent pour la plupart à des espèces tout à fait banales dans les sols de la zone tempérée; leurs caractères sont liés, pour une large part, aux différents stades de développement des profils qui se succèdent dans la séquence évolutive classique des sols de limons (1), et n'offrent aucune signification climatique précise. Tel n'est pas le cas, apparemment du moins, des minéraux argileux formés dans les alluvions graveleuses antérissiennes.

(1) Cf. Chapitre XII, 1.

B - Les 3 âges de l'évolution géochimique des nappes alluviales graveleuses

Au plan de la différenciation des profils comme à celui de l'altération géochimique, l'évolution des couvertures limoneuses quaternaires, on l'a vu, donne généralement l'impression d'un phénomène à la fois continu et progressif dans le temps. Les nappes caillouteuses, en revanche, peuvent se regrouper en 3 générations auxquelles répondent 3 sortes d'évolutions bien typées : nappes würmiennes et rissiennes, d'une part; formations mindéliennes et günziennes, d'autre part; enfin, remblaiements du Donau et des plateaux de piémont.

a) Würm et Riss : un processus régulier et continu de type "tempéré"

Dans les nappes caillouteuses du Würm et du Riss, on retrouve l'essentiel du stock de minéraux argileux présent dans les lits majeurs et les carrières ouvertes dans les ramiers. Dans ces dernier, illites, chlorites, vermiculites et minéraux à 10 - 14 Å, parfois assortis d'un peu de kaolinite, représentent sans doute pour une large part un héritage détritique inclus dans la maigre matrice des graves.

Discrète dans le Würm, déjà plus nette dans le Riss (surtout au niveau des horizons II Bt), l'argilisation des matrices traduit une altération progressivement plus poussée des minéraux primaires. Mais la nature des espèces argileuses ainsi libérées n'est pas foncièrement différente de celle qui caractérise les ma-

tériaux postglaciaires. Tout au plus note-t-on le renforcement des minéraux du type vermiculite ou à 10 - 14 Å, et l'estompage plus ou moins marqué des chlorites primaires; la montmorillonite, au demeurant peu abondante, disparaît totalement, sauf dans les cailloutis à matrice carbonatée qui supportent les sols bruns lessivés à horizons calcaires profonds des basses plaines de l'avant-pays.

Du Postwürm au Riss, on a donc l'image d'une évolution où transformations et, éventuellement, néoformations, s'intègrent dans un processus régulier et continu d'altération, qui s'inscrit dans une séquence évolutive banale et couramment observée dans la zone tempérée.

b) Mindel et Günz : une kaolinisation imparfaite

Nous savons déjà, pour l'avoir évoqué à plusieurs reprises, que le changement très net de faciès des nappes graveleuses, lorsque l'on passe du Riss au Mindel, se double d'une franche coupure dans l'évolution géochimique des argiles. Non seulement, l'argilisation des matrices, bien que très variable d'un horizon ou d'un profil à l'autre, atteint un degré inconnu jusqu'ici (fig. 41), mais surtout, le développement des minéraux kaoliniques (1) caractérise de façon très générale les profils antérissiens.

De fait, aux illites, vermiculites et minéraux à 10-14 Å interstratifiés ou proches des chlorites secondaires, toujours

(1) Et, secondairement, de la gibbsite, qui apparaît essentiellement dans les galets cristallins altérés.

bien représentés dans les associations argileuses, se mêle régulièrement une part plus ou moins importante de kaolinites généralement plus abondantes au sommet des graves que dans les horizons profonds. Mais ces minéraux kaoliniques, on l'a vu, se signalent la plupart du temps par leur médiocre degré d'organisation, au point que, dans certains cas, leurs raies principales de diffraction X n'apparaissent que sous la forme de larges bosses très dissymétriques et mal dégagées du bruit de fond, du côté des petits angles (1).

Toutefois, il a été possible, on s'en souvient, de distinguer à cet égard les nappes mindéliennes des formations günziennes. Dans celles-ci, en effet, les kaolinites sont un peu plus abondantes que dans celles-là; mais, surtout, elles offrent assez généralement un moins médiocre degré de cristallinité, tout au moins dans les horizons supérieurs des cailloutis, que les kaolinites mindéliennes (2).

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. 2ème Partie, Chapitre VIII, 2.

(2) On aurait pu, à cet égard, user du critère de comparaison fourni par l'indice de cristallinité (qui correspond en fait à l'indice d'aigu des raies), tel qu'il a été utilisé par exemple par C. LATOUCHE (1971). Mais, outre que la simple observation des pics nous semble suffisamment éloquente (fig. 44), la présence de minéraux donnant des réflexions très proches de la raie (001) de la kaolinite (vermiculites et chlorites secondaires, notamment) enlève toute signification à cette mesure.

c) La kaolinisation vigoureuse du Donau et des plateaux de piémont

Si la teneur en particules argileuses des matrices, quoique fort irrégulière, apparaît dans l'ensemble comme un peu plus élevée (1) que celle des nappes du Mindel et du Günz, il est clair que la note dominante des niveaux du Donau et des plateaux de piémont ressortit d'abord à l'abondance et à l'excellente cristallinité de leurs minéraux kaoliniques. Ces derniers, en effet, dominent souvent dans les cortèges argileux et se signalent par l'importance et l'acuité de leurs réflexions principales (001) : à cet égard, rien de véritablement fondamental ne distingue les nappes du Donau de l'avant-pays de celles qui, danubiennes ou pliocènes, s'étalent à l'amont des cluses, sur la bordure pyrénéenne proprement dite. Ajoutons à cela que, contrairement aux alluvions günziennes et, plus encore, mindéliennes, Donau et plateaux de piémont ne comportent pratiquement plus de minéraux aluminosilicatés primaires, comme les feldspaths plagioclases et montrent des profils presque totalement dénués de roches cristallines reconnaissables.

C - Les interprétations paléoclimatiques de l'évolution géochimique des argiles dans les nappes antérissiennes

Si, dans les nappes graveleuses rissiennes et würmiennes, l'évolution et la nature des argiles s'apparentent, pour l'essentiel, aux altérations et aux sols couramment décrits en zone

---

(1) Surtout, à vrai dire, dans les nappes Donau de l'avant-pays molassique.

tempérée, la présence nette de kaolinites (1) et, accessoirement de gibbsite, dans les formations prérissiennes, constitue indéniablement un élément nouveau dans l'évolution des argiles.

a) L'origine des minéraux kaoliniques

Il est notoire, en effet, que kaolinites et gibbsites caractérisent au premier chef les puissantes altérations de la zone intertropicale chaude et humide. Ajoutons à cela que ces minéraux apparaissent presque exclusivement dans les nappes où les faciès rubéfiés et les concentrations ferrugineuses cuirassées sont plus fréquentes et plus développées que dans les formations postérieures. En outre, les faunes "chaudes", que nous avons évoquées dans un chapitre antérieur, semblent la plupart du temps plus anciennes que le Riss : il y a là indiscutablement un ensemble de faits convergents qui n'a pas manqué de retenir l'attention des observateurs.

Aussi ne peut-on s'étonner que nombre d'auteurs aient interprété la formation de ces minéraux comme la conséquence d'altérations vigoureuses, sous des climats nettement plus agres-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) M. ICOLE (1971 c) a mis en évidence de véritables concentrations d'halloysite (minéral de la famille des kaolinites), sous forme de bandes, dans les alluvions günziennes du Gave de Pau. Il est vrai, cependant, qu'elle est peut-être remaniée des sables fauves vindoboniens (qui en contiennent), puisqu'on la trouve aussi localement dans le Riss.

sifs que l'actuel, peut-être plus humides, mais de toute façon, plus chauds. De fait, et si l'on se borne à quelques exemples caractéristiques, ce sont bien à de tels climats qu'ont été attribués le ferreto kaolinisé des altipiani du piémont de Lombardie (P. GABERT, 1962) et du bassin du Rhône (F. BOURDIER, 1967), ou les dépôts rubéfiés du Quaternaire moyen des Abruzzes adriatiques (J. DEMANGEOT, 1963, 1965) (1).

Sur le piémont pyrénéen, les conclusions de H. ALIMEN (1964), H. ALIMEN et al. (1964 a, b), relatives aux dépôts antérissiens, ne sont guère très différentes des précédentes, non plus d'ailleurs que celles qui se dégagent des premières publications de M. ICOLE (1969 b, 1970 a, b, 1971 a, b, c). La position de G. VIERS (1960, 1963) s'apparente dans une certaine mesure aux interprétations précédentes; cet auteur attribue en effet l'altération des roches cristallines incluses dans les formations préglaciaires à des climats chauds, quoiqu'à tendance semi-aride, et voit dans les patines ferrugineuses et les concrétions siliceuses de certains replats mindéliens du Pays basque, les témoins d'altérations de type tropical ou subtropical.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Rappelons aussi pour mémoire que, dans l'ouvrage collectif publié sous la direction de H. de LUMLEY-WOODYEAR (1971) et consacré aux industries paléolithiques du Midi méditerranéen, l'hypothèse de climats chauds antérissiens constitue apparemment une évidence pour les auteurs.

Toutefois, et s'agissant alors particulièrement du Bassin d'Aquitaine, certains auteurs ont pu invoquer l'influence majeure d'un héritage du Tertiaire, les remblaiements quaternaires remaniant ainsi des altérites développées au cours de la période sidérolithique. C'est le cas de J. ALVINERIE et al. (1965), mais surtout de C. LATOUCHE (1971), qui a travaillé essentiellement sur le Quaternaire de la Gironde. On peut résumer ses principales conclusions, puisqu'aussi bien cet auteur a clairement mis en évidence, comme nous, les différents degrés de cristallinité des minéraux kaoliniques d'une nappe à l'autre. Plusieurs catégories sont ainsi mises en évidence par C. LATOUCHE :

- d'une part, des altérites issues des calcaires stampiens à Astéries (Blayais et Entre-Deux-Mers), fossilisées par d'épais remblaiements alluviaux et riches en kaolinites bien cristallisées. Ces faciès sont assimilés à des paléosols résiduels, développés sous les climats très agressifs, chauds et humides, du Miocène;

- d'autre part, et dans la même région, les formations graveleuses et argilo-sableuses bariolées, qui recouvrent souvent les calcaires précédents, sont également riches en kaolinites bien organisées : c'est le "Pliocène" de la carte géologique au 80 000° (feuilles Bordeaux et Lesparre), que tout semble désigner, en réalité, comme l'équivalent du Donau que nous avons défini à propos des nappes culminantes de l'avant-pays molassique. Pour C. LATOUCHE, ces matériaux, et, en particulier, les kaolinites, proviendraient d'un vigoureux remaniement des formations sidérolithiques du Tertiaire aquitain et auraient été déposées ... "par un fleuve dont le tracé reste à préciser";

– dans le Médoc, le "Pliocène" revêt plusieurs aspects. L'un, en particulier, caractérise des graves où la kaolinite est relativement abondante mais mal cristallisée. L'auteur remet en cause l'appartenance de ces dépôts (Le Plan - Médoc; Saint-Sauveur; Lesparre ...) au "Pliocène". Nous le suivons d'autant plus volontiers que, on vient de le voir, les nappes du Blayais et de l'Entre-Deux-Mers évoquées ci-dessus se rattachent très probablement au Donau et prolongent, vers l'aval, les "hauts cailloutis" de Lomagne. Du même coup, ce "Pliocène" du Médoc, par la nature de ses kaolinites, s'apparente plutôt au Günz sinon au Mindel définis dans ce travail (c'est-à-dire aux niveaux a_{1a} ou a_{1b} de la carte géologique au 80 000°);

– précisément, dans l'ensemble de la zone girondine, les terrasses a_{1a} et a_{1b} se caractérisent par des kaolinites assez abondantes mais mal cristallisées, surtout dans les niveaux a_{1b}. Ce sont là des traits qui évoquent parfaitement le Günz et le Mindel de notre domaine. Comme dans le cas précédent, ces faciès sont attribués à un remaniement de sols anciens élaborés sous climats chaud; mais, moins abondantes et désorganisées, les kaolinites témoigneraient d'un "régime climatique nouveau" (1);

– enfin, à l'instar de la région sous-pyrénéenne, une rupture est mise en évidence au niveau des terrasses a_{1c} et a_{1d}, probablement rissiennes et würmiennes : l'absence de kaolinites, l'abondance de minéraux du type chlorites ou vermiculites, dénoteraient

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Il est vrai qu'elles pourraient également traduire un remaniement d'origine plus lointaine, si l'on se refère aux travaux de R. LAFOND (1965) : selon cet auteur, les kaolinites s'altéreraient plus ou moins par transport, en zone intertropicale.

l'influence d'un régime climatique tempéré.

Dans ce schéma, les caractères "tropicaux" des profils d'altération antérissiens seraient donc hérités pour une large part de formations tertiaires ou quaternaires anciennes développées dans les bassins-versants des cours d'eau et remaniées sous forme de remblaiements alluviaux. En fait, cette thèse ne résiste pas, tout au moins dans notre domaine, aux données fournies par l'étude du terrain. On a déjà montré, en effet (1), que l'existence d'un front d'altération ou d'un gradient vertical d'altération dans les nappes graveleuses, de même que le degré de décomposition des galets fragiles dans les nappes à éléments arénisés ou argilisés, dénonçaient sans ambiguité aucune la part prépondérante de matériel frais dans les dépôts originels. Force est donc d'admettre que les kaolinites, pour nous en tenir à ces seuls minéraux, sont néoformées au sein des alluvions graveleuses : c'était déjà là, du reste, la conclusion de H. ALIMEN et al.(1964 a), concernant les nappes antérissiennes de la Bigorre.

b) Le problème de la cristallinité différentielle des kaolinites

Si l'on adopte le modèle paléoclimatique "classique", à savoir que le net développement de minéraux comme les kaolinites postule l'existence de climats chauds antérissiens, il faut pouvoir y intégrer les données relatives au degré d'organisation des argiles : bien cristallisées dans les plateaux de piémont attribués au

(1) Cf. 2ème Partie, Chapitre III, 1, C.

Pliocène et dans le Donau, les kaolinites se dégradent apparemment dans le Günz et plus encore dans le Mindel et offrent l'aspect de minéraux désordonnés.

On serait donc en droit de supposer que les conditions climatiques qui ont régné postérieurement au Günz et, plus encore, au Mindel, étaient déjà un peu moins favorables à l'altération de type tropical clairement exprimée dans les nappes du Donau : depuis ce dernier jusqu'à l'aube du Riss, se serait en quelque sorte manifestée une dégradation progressive du climat vers des régimes plus frais et, éventuellement, plus secs, ce que traduirait également l'altération décroissante des minéraux primaires et des éléments rocheux inclus dans les alluvions.

En fait, on doit se demander s'il s'agit là du seul modèle explicatif possible. Déjà, on l'a vu, des processus comme le cuirassement par le fer ou le développement des faciès rubéfiés, traditionnellement imputés à des climats nettement différents de l'actuel, n'offrent qu'une bien médiocre signification climatique. En outre, l'absence ou les faibles teneurs en phyllites 1/1 dans les couvertures limoneuses antérissiennes non remaniées, pose également un problème : on peut imaginer, en effet, que dans des conditions de climat réellement agressif, le réseau alumino silicaté représenté par les différentes espèces argileuses issues, par exemple, de la molasse, aurait dû subir une altération marquée et conduire à la formation de minéraux kaoliniques.

Quoiqu'il en soit, il convient maintenant de nous attacher à la signification de ces minéraux de néoformation qui, comme les kaolinites, caractérisent généralement les sols de la zone intertropicale. Ce sera l'occasion d'élargir le débat, en faisant référence à la fois aux sols tropicaux, aux vitesses d'évolution pédologique et géochimique et, en définitive, au rôle du facteur temps dans les phénomènes d'altération de la surface : nous pourrons alors proposer notre interprétation des faits.

CHAPITRE XII

LE ROLE DU FACTEUR TEMPS DANS LA PEDOGENESE ET L'ALTERATION DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

CHAPITRE XII

LE ROLE DU FACTEUR TEMPS DANS LA PEDOGENESE ET L'ALTERATION DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

1 - ENERGIE D'ALTERATION ET VITESSE D'EVOLUTION

A - Kaolinites et gibbsite : des minéraux exclusivement "tropicaux" ?

Dans la zone tempérée, les kaolinites sont généralement héritées. Ainsi, pour nous en tenir à la bordure pyrénéenne, la molasse contient-elle localement des teneurs plus ou moins faibles en kaolinites, que l'on retrouve aussi bien dans les sols du Terrefort que, de place en place, dans les limons de la province pétrographique molassique. De même, dans les sols rouges lithocalciques (rendzines et maigres sols fersiallitiques résiduels) qui tapissent les revers de cuestas du Cabardès (sud de la Montagne Noire), elles constituent parfois une part non négligeable du cortège argileux et viennent sans nul doute de la fraction insoluble des calcaires éocènes. Ces minéraux peuvent aussi se trouver en quelque sorte emprisonnés dans des formations fossilisées, com-

me c'est le cas, en Montagne Noire également, pour certaines altérites oligo-miocènes, ensevelies sous plusieurs mètres ou dizaines de mètres d'argiles à graviers : ces dernières en comportent d'ailleurs souvent, puisqu'elles remanient fréquemment ces mêmes altérites, ressortissant ainsi peu ou prou au faciès sidérolithique développé tout autour du Massif central.

Depuis plusieurs années, cependant, la multiplication des analyses systématiques sur des types de sols de plus en plus nombreux et variés, parallèlement à l'utilisation de méthodes diffractométriques désormais fiables, a permis un certain nombre d'observations nouvelles. Kaolinites et gibbsite ont été mises en évidence de façon indiscutable dans des sols et des altérites d'âge récent : rankers, sols bruns acides, arènes de granites et micaschistes (J. DEJOU et al., 1967, 1968, 1970; Y. TARDY, 1969). De même, la présence d'halloysite (1) été signalée à plusieurs reprises dans les andosols tempérés de formation récente, par cristallisation à partir de gels allophaniques (P. DUCHAUFOUR, 1968).

Ainsi, des néoformations traditionnellement imputées aux climats chauds et humides de la zone intertropicale peuvent prendre naissance sous les climats tempérés et ce, dans des maté-

---

(1) Minéral du groupe de la kaolinite, qui existe fort probablement en abondance parmi les kaolinites des nappes garonnaises et ariégeoises, généralement plus proches des métahalloysites, mais que nous n'avons pas cherché à déterminer spécifiquement.

riaux qui semblent apparemment aujourd'hui en cours d'évolution.

B - Les manteaux d'altération kaoliniques tropicaux : une évolution depuis longtemps engagée

"Zone tachetée", "argiles bariolées", "argiles kaoliniques", "lithomarge", les épais horizons riches en kaolinites de la zone intertropicale sont connus de longue date et ont été décrits à maintes reprises. Mais il est clair que ces altérites, lorsqu'elles sont en place, s'observent presque exclusivement sur les socles gneisso-granitiques anciens dénués de couverture sédimentaire, vieilles plates-formes plus ou moins gauchies et déformées par des mouvements tectoniques de faible ampleur, et retouchées par la morphogénèse sous forme de niveaux d'aplanissement et de glacis étagés.

L'âge de ces surfaces d'érosion ne peut guère être estimé avec précision. Tout au moins la plupart des auteurs s'accordent-ils à rapporter leur formation à des périodes anciennes du Quaternaire et du Tertiaire (G. ROUGERIE, 1960; J. TRICART, 1965b J. DEMANGEOT, 1967; L. C. KING, 1967; P. BIROT, 1970).

Or, il se trouve que l'épaisseur des argiles tachetées et la prédominance et minéraux kaoliniques semblent d'autant mieux marquées que glacis et surfaces d'érosion sont plus élevées, donc plus anciennes. Ce fait apparaît avec une netteté toute particulière dans les milieux tropicaux à saisons contrastées. Ainsi, en Haute-Volta et dans le Centre du Togo, en contrebas des hautes surfaces parfois cuirassées et à puissant matelas kaolinique, les moyens et

surtout les bas glacis montrent généralement une zone tachetée d'épaisseur plus faible, qui, le plus souvent, s'amenuise au point de disparaître dans la profondeur des bas glacis (A. RUELLAN, 1971 a ; A. LEVEQUE, 1972).

Certes, on peut imaginer que, dans ces régions à saisons sèches relativement sévères, le manteau kaolinique des glacis supérieurs doit ses caractères à des climats tertiaires ou quaternaires très anciens, plus humides que l'actuel. Mais rien ne permet d'apprécier véritablement cette part d'héritage. Tout se passe comme si, indépendamment de toutes les variations climatiques vers l'humide ou l'aride, qui ont dû se succéder depuis quelques millions d'années, l'ancienneté du début de l'altération réglait pour une très large part l'épaisseur et le degré de différenciation des profils. Dans cette perspective, l'évolution géochimique conduisant à une néoformation massive d'argiles kaoliniques se poursuivrait encore de nos jours (1). Seule, la lenteur relative de ces phénomènes expliquerait l'absence, la rareté ou la minceur des horizons kaoliniques dans les niveaux les plus récents (2). Ce mo-

- -

(1) Exception faite, sans doute, des régions actuellement soumises à des climats tropicaux secs, à tendance sahélienne .

(2) Par ailleurs, les travaux menés depuis une dizaine d'années par les chercheurs de l'ORSTOM en Afrique tropicale, ont montré que la position des profils dans les toposéquences règle de façon très générale la nature et l'intensité des néoformations argileuses et des concentrations chimiques (A. RUELLAN, 1971a; G. BOCQUIER, 1973). Ainsi, dans les milieux tropicaux à saison sèche, les zones aval des "paysages géochimiques", qui sont aussi les plus récentes, s'enrichissent progressivement en montmorillonites (voire en calcaire et en sels solubles), tandis que les secteurs amont représentent un domaine de néoformation des kaolinites .

dèle de différenciation croissance des sols avec le temps se retrouve du reste en domaine tropical constamment humide comme, par exemple, à propos des basaltes du Cameroun : argilisation et développement des minéraux 1/1 ne s'observent véritablement que dans les coulées quaternaires anciennes et tertiaires (P. BIROT, 1959; G. SIEFFERMAN et al., 1968).

C - L'"énergie d'altération" : une variable du facteur temps

a) Les facteurs de la pédogénèse : des variables interdépendantes

Dès les premiers travaux de l'école russe, la durée d'évolution a été prise en compte par les précurseurs de la pédologie moderne. Le concept forgé par V. V. DOKOUTCHAEV à la fin du siècle dernier, et qui constitue depuis le fondement même de la science du sol, s'exprimait alors parfois sous la forme elliptique (mais sans signification mathématique précise) de l'équation générale : $s = f\ (c, o, r, p, t)$. Dans cette expression, s représente le sol lui-même à un moment donné de son évolution, les autres symboles désigant respectivement le climat, les organismes vivants, la roche, le relief et le temps. Un peu plus tard, H. JENNY (1941) propose une formulation presque identique, à la différence près que c'est non plus seulement le sol mais l'une quelconque de ses propriétés qui forme la partie gauche de l'égalité. Sous leur apparente naïveté (1), il est clair que ces transpositions mathématiques n'avaient d'autre but que de souligner avec force l'origine comple-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) "Coquetteries de naturaliste" (H. MARGULIS, 1963) .

xe du sol, face aux conceptions plus "monogéniques" qui prévalaient encore à l'époque (E. RISLER, 1884).

Quoiqu'il en soit, on notera que dès cette période, DOKOUTCHAEV avait souligné l'interdépendance, la réciprocité et les effets de combinaison qui caractérisent les facteurs de la pédogenèse : action combinatoire donc, beaucoup plus que cumulative. C'est cette conception qui l'emporte aujourd'hui, comme du reste dans la plupart des sciences du Milieu. Dans les années 1940, G. BRYSSINE (1949) s'en était quelque peu inspiré en proposant la formulation Ec = P x T, où Ec désigne l'"énergie climatique" d'un milieu donné, P et T les moyennes annuelles de précipitations et températures, et dans laquelle ces deux facteurs ne sont plus juxtaposés mais multipliés. C'est là, on le voit, un raisonnement de type "zonal", où seuls les bioclimats sont pris en considération, indépendamment de la distribution des sols dans le paysage, des héritages possibles et surtout de la durée des évolutions.

b) L'effet cumulatif du temps

Parmi les variables pédogénétiques, DOKOUTCHAEV avait cependant noté l'originalité du facteur temps, lequel "s'écoule et agit en dehors de toute influence" (H. MARGULIS, 1963). Mais cette appréciation était, si l'on peut dire, tout intuitive : la plupart des travaux de l'école russe portaient alors, en effet, sur des sols relativement récents développés dans les formations morainiques, fluviatiles ou hydroéoliennes des grandes plaines russes. Simplement avait-on pressenti que la durée d'évolution jouait un rôle à part, en tant que seule variable réellement indépendante

parmi les facteurs de la pédogénèse, mais dont ces derniers sont étroitement tributaires (1).

C'est pour nous une observation capitale, car elle implique que l'action du facteur temps est d'abord cumulative, plus qu'elle ne se combine à celles des autres variables. Du même coup, l'action globale des facteurs de la pédogénèse hérite de l'effet cumulatif introduit par la variable temps-durée.

En d'autres termes, l'"énergie d'altération", que nous pourrions alors définir comme l'état d'altération globale d'un matériel donné, dans des conditions de milieu et à un moment donnés, représente une variable du facteur temps-durée : chaque "tranche d'âge" écoulée voit s'ajouter un "quantum" d'altération qui s'additionne ainsi aux précédents (2).

Les autres facteurs de l'évolution interviennent à la fois dans la vitesse et les modalités de la pédogénèse et de l'altération. Des ruptures, des seuils ou des blocages peuvent se manifester : érosion (sols tronqués ou rajeunis); froid ou sécheresse marqués (sols peu évolués des régions arides et des toundras); blocages

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On retrouve du reste des préoccupations analogues dans M. BONNEAU et al. (1967).

(2) En s'inspirant de la formule de G. BRYSSINE (1949), on pourrait proposer : $Ea = \sum_{to}^{tn} \left[(P \times T)b \right] d$, où l'expression $\left[(P \times T)b \right] d$ représente le quantum l'altération pour une tranche d'âge donnée et pour un matériau donné. P et T : pluviométrie et température moyennes; b : coefficient lié à l'activité biotique; d : coefficient lié à l'intensité du drainage. Ea est l'énergie d'altération globale, somme des quanta d'altération depuis le temps to (début de l'évolution) jusqu'au temps tn.

physiques ou géochimiques (dépressions hydromorphes, milieux confinés, apport latéral de cations ...) ou, au contraire, intensification des hydrolyses (domaines climatiques chauds et humides, drainage actif ...); tous ces phénomènes viennent ainsi interrompre ou diversifier, ralentir ou accélérer l'évolution.

Ainsi, si l'on reprend l'expression de G. BOCQUIER (1973), relative aux toposéquences de la zone intertropicale, les sols représentent des systèmes naturels qui offrent une sorte d'autodéveloppement avec le temps : nombre de caractères des profils sont étroitement tributaires de la durée d'évolution et n'apparaissent véritablement qu'à partir d'un certain stade de cette évolution (1). Certes, il est clair que ce processus d'autodéveloppement des systèmes pédologiques peut se voir infléchir, dans une direction donnée, par une série de "dérives" liées aux facteurs "externes" à ces systèmes, et au premier rang desquelles se placent les conditions bioclimatiques qui ont pu prévaloir à l'un ou l'autre moment de l'histoire des sols. Il n'en demeure pas moins que l'autodéveloppement des profils avec le temps, qui implique la cumulation des quanta d'altération, constitue sans doute un principe directeur majeur de l'évolution. Sous cet éclairage, l'apparition de caractères proprement "tropicaux" dans les nappes prérissiennes du piémont garonnais et ariégeois peut-être envisagée de façon nouvelle.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On retrouve ici le modèle de développement évoqué à propos de la séquence évolutive des couvertures limoneuses (cf. Chapitre XI, 1, B).

2 - LES CONDITIONS DE NEOFORMATION DES KAOLINITES DANS LES NAPPES ANTERISSIENNES GARONNAISES ET ARIEGEOISES

On se bornera, dans les pages qui suivent, à un rappel succint des données majeures concernant les modalités de l'altération et des néoformations; on présentera, dans le même temps, l'interprétation qu'appellent les évolutions enregistrées dans le piémont garonnais et ariégeois. Précisément, on sait qu'en cette matière, ce sont 2 facteurs primordiaux qui règlent la nature et la rapidité des altérations géochimiques superficielles : d'une part, la température; d'autre part, la concentration des ions dans les solutions et l'intensité du drainage.

A - Vitesse des hydrolyses et solubilisation de la silice

L'hydrolyse constitue le mécanisme fondamental de l'altération des silicates. Sa dynamique reflète très largement les conditions thermiques : on considère généralement que, à l'instar de nombreuses réactions chimiques "classiques", toute augmentation de 10°C conduit à un doublement de la constante de dissociation de l'eau et, partant, de la vitesse de l'hydrolyse (E. RAMANN, 1911; G. MILLOT, 1964).

Or, le point de départ de l'altération ferrallitique à kaolinites (et gibbsite) de la zone intertropicale est constitué par une solubilisation de la silice issue des aluminosilicates primaires, beaucoup plus marquée qu'elle ne l'est, en principe, dans les domaines climatiques tempérés. L'intensité de ce processus est directement lié à la vitesse des hydrolyses et au régime thermique

qui la commande (1). On peut donc raisonnablement supposer que la mise en solution de la silice, qui est loin d'être négligeable dans la zone tempérée (Y. TARDY, 1969), est environ 3 à 4 fois moins rapide sous climat tempéré que dans les conditions plus chaudes de la zone intertropicale, tous les autres facteurs étant supposés égaux par ailleurs (G. MILLOT, 1964).

En d'autres termes, si l'on s'en tient à cette approche extrêmement grossière du phénomène, on peut estimer qu'il faudra environ 3 ou 4 fois plus de temps en régime climatique tempéré que sous climat chaud, pour que les hydrolyses et, par conséquent, la mise en solution de la silice, atteignent un degré comparable, dans des conditions de roche-mère, de drainage et de pluviosité équivalentes.

Cela revient à dire que, pour peu que les épisodes climatiques postérieurs à leur dépôt aient été suffisamment humides, les nappes graveleuses du piémont garonnais et ariégeois, riches en minéraux aluminosilicatés primaires, auront pu, au terme d'une durée d'évolution appréciable, connaître les prémices de la ferrallitisation (2). Il reste cependant que drainage et concentration en

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On a pu également attribuer un certain rôle à la brutalité de l'altération des tropiques humides : les horizons de départ sont énergiquement lessivés de leurs bases, lesquelles confèreraient temporairement au milieu un caractère neutre, sinon basique, qui faciliterait la dissolution de la silice (P. DUCHAUFOUR, 1968). En fait, la solubilité de la silice n'augmente véritablement que pour des pH supérieurs à 9.

(2) Ou, plus précisément, de la monosiallitisation (néoformation de kaolinites) ou de l'allitisation (individualisation de l'alumine).

bases des solutions interviennent de façon tyrannique dans ces phénomènes d'altération.

B - Drainage et lessivage du milieu

Des travaux récents conduits aussi bien en zone tropicale qu'en domaine tempéré (H. PAQUET et al., 1969 ; Y. TARDY, 1969; H. PAQUET, 1970; A. RUELLAN, 1970; M. LAMOUROUX, 1971; G. BOCQUIER, 1973), il ressort que les caractères géochimiques et minéralogiques des sols, la nature des altérations et des néoformations, sont étroitement tributaires de la position des profils dans le paysage et de leur place au sein des toposéquences. Une distinction fondamentale s'établit ainsi entre milieux lessivés et d'exportation, à l'amont, et milieux de réception et d'accumulation latérale, plus ou moins confinés, à l'aval. De fait, c'est bien l'intensité du drainage, véritable moteur de l'altération à la surface du globe (G. PEDRO, 1964; G. PEDRO et al., 1968), et la concentration en ions qu'elle commande, qui sont en cause dans ces phénomènes.

a) Trois grands milieux géochimiques

Si l'on schématise à grands traits, il convient de distinguer, avec G. MILLOT (1964), les trois types de milieux qui règlent, en particulier, le destin de la silice et de l'alumine :

- des milieux confinés, riches en silice et en cations, à réaction neutre ou basique : transformations et néoformations sont orientées vers des agradations ou vers le développement de miné-

raux phylliteux à 3 couches, comme les montmorillonites;

- des milieux "ouverts" à drainage très énergique et réaction acide : une grande partie des ions est éliminée, de sorte que les éléments nécessaires aux néoformations peuvent faire entièrement défaut. Moins soluble dans ces conditions que la silice, l'alumine peut s'accumuler relativement et cristalliser en gibbsite, cas fréquent en zone intertropicale. Dans les arènes bien drainées des régions tempérées, lafraction granulométrique argileuse reste faible, mais, localement, gibbsite surtout, kaolinites plus rarement, peuvent se développer.

- des milieux bien drainés, mais à lessivage ménagé, pauvres en bases et à réaction acide : silice et alumine sont présentes dans les solutions et se combinent alors volontiers en kaolinites, aux alentours de pH 5.

b) Les remblaiements alluviaux du piémont garonnais et ariégeois : des milieux drainés à lessivage ménagé

Il est clair que, dans la plupart des cas, les nappes détritiques du piémont garonnais et ariégeois ressortissent pour l'essentiel à un domaine éluvial, comparable aux termes amont des toposéquences évoquées ci-dessus (1). Du point de vue géochimi-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On n'évoque pas ici le cas des manteaux colluviaux du Terrefort, de formation récente au demeurant, et dont l'évolution est commandée, de toute évidence, par la configuration du modelé et la richesse en bases du milieu.

que, en effet, les remblaiements, étagés les uns au-dessus des autres sinon nettement séparés dans l'espace, n'offrent que peu de relations entre eux. De même, pour une nappe donnée, le gradient latéral de migration (1) demeure sans doute limité sur ces surfaces relativement planes (2). De façon générale, on peut considérer que chaque formation évolue à peu près indépendamment des autres : les percolats vont rejoindre les nappes phréatiques libres ou perchées de profondeur, lesquelles viennent sourdre au pied des talus de terrasses ou à mi-versant des vallons. Cela revient à dire que, dans ces conditions, l'évolution géochimique s'opère essentiellement par soustraction (M. ICOLE, 1973).

On a donc affaire, dans une large mesure, à des milieux lessivés. Mais ces milieux lessivés ne sont pas totalement "ouverts". La pente généralement très discrète, l'existence de nappes d'eau perchées, voire libres lorsque les alluvions peu épaisses reposent sur un plancher imperméable comme la molasse, ces caractères apparentent plutôt les remblaiements du piémont à des milieux à lessivage ménagé. Certes, les alluvions würmiennes, peu altérées et très perméables, tendent sans doute à se rapprocher des milieux fortement lessivés. Déjà, cependant, la modeste

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Exception faite des talus de terrasses et des versants de vallons qui entaillent les formations.

(2) Toutefois, il n'est pas impossible que des études très précises mettent un jour en évidence un gradient latéral de pédogénèse et d'altération, en particulier là où les niveaux sont à la fois continus sur plusieurs kilomètres et régulièrement inclinés vers l'axe des cours d'eau principaux : on pense notamment ici aux longues lanières de plateau de la Lomagne.

argilisation des graves rissiennes intervient pour limiter quelque peu la vigueur du drainage (1). Mais c'est évidemment surtout dans les matériaux argilisés et colmatés antérieurs au Riss que les modalités du drainage signalent véritablement un milieu à lessivage ménagé. Certes, ici aussi le drainage global est largement assuré et les eaux sont évacuées au niveau des sources et des suintements fort nombreux qui jalonnent versants et talus; mais les percolations verticales ou obliques sont relativement lentes et conduisent à la formation de nappes perchées particulièrement tenaces, comme en témoigne du reste l'ubiquité des faciès hydromorphes : de fait, dans nombre de profils graveleux, l'humidité des matrices demeure encore appréciable, de l'ordre de 15 à 20 %, en fin de saison sèche.

c) Du Würm au Donau : une désaturation du milieu en bases, de plus en plus poussée

Enfin, il n'est pas douteux que la concentration en bases des solutions percolantes évolue parallèlement à l'âge des rem-

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Les études hydrogéologiques menées par le BRGM dans la vallée de la Garonne, montrent que l'alimentation de la nappe phréatique supra-molassique des terrasses rissiennes est généralement moins bien assurée que dans les basses plaines : le débit des puits n'y excède guère 10 m3/h (chiffre assez comparable à celui des terrasses moyennes), alors qu'il atteint souvent 15 m3/h et plus dans les basses plaines (B R G M , 1965 - 1970). C'est sans aucun doute l'indice d'un cycle de l'eau percolante moins rapide dans les terrasses rissiennes que dans les formations würmiennes.

blaiements. En dépit des innombrables variations ponctuelles ou locales qu'il subit (1), le pH moyen des matrices graveleuses s'abaisse progressivement du Würm au Donau. Dans les formations postmindéliennes, il oscille généralement autour de 6. Dans les alluvions antérissiennes, en revanche, là où les matrices ne contiennent plus guère de fragments rocheux cristallins ou de minéraux primaires en voie d'altération (2), on a vu que les pH tendent à se rapprocher de 5; dans le Donau et les plateaux de piémont, ils sont souvent encore plus bas (3).

Abondance de minéraux aluminosilicatés primaires altérés ou en voie d'altération; milieu lessivant mais à drainage ménagé, propice à la stagnation de nappes d'eau perchées; pH acides de l'ordre de 5 dans une part au moins des matrices : ce sont là les conditions requises pour la néoformation de kaolinites (4), dès

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Sans parler de l'influence des chaulages et apports d'engrais, qui expliquent sans doute pour une certaine part la grande variabilité spatiale des pH.

(2) Cf. 2ème Partie, Chapitre VIII, 2, A, b.

(3) En relation avec ces pH décroissants, O. PAYET (1971) et M. ICOLE (1973) ont montré la nette différence entre les résistivités des eaux de sources issues de la percolation à travers le plateau de Lannemezan (20 000 ohm/cm), le Mindel de la Neste (4 000 ohm/cm) et le Würm de la Garonne (2 500 ohm/cm).

(4) Rappelons que, nos observations portant plus spécifiquement sur les matrices, la gibbsite n'a été localement mise en évidence que dans certains galets cristallins en voie d'altération du Mindel et du Günz. Pour M. ICOLE (1973), la néoformation de gibbsite serait en relation avec un drainage plus vif et un pH moins acide, réalisés à l'intérieur des galets en voie d'altération. Cette gibbsite, en revanche, ne se formerait pas dans les matrices, à drainage moins rapide et pH plus bas, de même qu'elle serait détruite dans les alluvions plus acides du Donau.

le stade des alluvions mindéliennes et, a fortiori, dans les formations plus anciennes.

Ainsi, même si l'on écarte a priori toute intervention de climats agressifs depuis le dépôt du Donau, rien n'interdit de penser que, par le seul jeu de l'autodéveloppement des profils avec le temps et de la cumulation des quanta d'altération conduisant à une soustraction de matière de plus en plus poussée et à une acidification de plus en plus marquée, les conditions de la néoformation de kaolinites ont pu être spontanément assurées à partir d'une étape déjà tardive de l'évolution, étape grossièrerement matérialisée dans l'espace par les profils d'altération mindéliens. Toutefois, entre les néoformations kaoliniques du Mindel et celles des remblaiements plus anciens, un certain nombre de différences se font jour et doivent être prises en compte.

C - Gradients de néoformation des kaolinites dans les profils et d'une nappe à l'autre : abondance et cristallinité

Du Mindel au Donau, on a déjà souligné à maintes reprises que les minéraux kaoliniques tendaient à devenir à la fois plus abondants et mieux cristallisés. A cet égard, on a pu noter qu'une nette rupture s'établissait entre d'une part, les nappes Mindel et Günz, à kaolinites rarement dominantes et plus ou moins désordonnées, et, d'autre part, les alluvions du Donau et des plateaux de piémont, à phyllites 1/1 abondantes et bien organisées. Par ailleurs, dans les profils d'altération mindéliens et günziens, l'importance et le degré d'organisation des kaolinites décroissent généralement avec la profondeur, parallèlement à l'altération globale des éléments cristallins et des minéraux aluminosilicatés primaires.

Le degré d'altération des minéraux primaires et la désaturation croissante des alluvions graveleuses semblent pouvoir expliquer, de façon satisfaisante, ces gradients de néoformation et de cristallinité. On imagine aisément, en effet, que les kaolinites néoformées seront d'autant plus abondantes que le milieu est désaturé en bases et les aluminosilicates en voie d'altération complète. Dans le Günz et surtout dans le Mindel, les profils sont beaucoup plus hétérogènes, de ce point de vue, que ceux du Donau : des débris d'éléments rocheux cristallins parsèment encore régulièrement la matrice, d'où la fréquence de pH ponctuels à tendance neutre, sinon basique, qui caractérise les profils et, en particulier, leurs horizons profonds moins altérés. Sans doute les kaolinites n'ont-elles pu véritablement prendre naissance que là où, ponctuellement, régnaient des conditions de désaturation du milieu compatibles avec leur genèse (1), cas beaucoup plus général et dans les horizons sommitaux des graves, plus altérés, et, surtout, dans les profils du Donau et des plateaux de piémont, mieux désaturés et débarrassés d'une bonne partie des minéraux primaires. A l'inverse, c'est dans les plages encore peu désaturées, et comportant généralement des reliquats de roches cristallines, du Mindel et du Günz, que les minéraux à 3 couches, par transformation ou néoformation, ont dû se développer, limitant

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On retrouve ici le problème du site des minéraux primaires, au cours de l'altération, évoqué par M. ICOLE (1973) au niveau des galets à cortex du piémont occidental nord-pyrénéen.

ainsi l'abondance des kaolinites dans les échantillons "globaux" (1) analysés.

S'agissant du degré de cristallinité des kaolinites, tout porte à croire que, les mêmes causes produisant les mêmes effets, le degré d'organisation des minéraux néoformés traduit dans une large mesure le milieu de genèse propre à chaque horizon ou à chaque nappe. Tout se passe comme si l'accouplement de la silice et de l'alumine conduisait, dans des conditions d'hydrolyse incomplète des minéraux primaires et d'insuffisante désaturation du milieu, à des structures cristallines d'abord très désordonnées, mais s'organisant de mieux en mieux avec les progrès de l'altération et de la décationisation, d'autant plus poussée que les horizons sont moins profonds et les remblaiements plus anciens. Ce n'est pas là, du reste, une interprétation totalement inédite : en zone tropicale humide, sur socle gneisso-quartzitique, J. NICOLAS et al. (1965) ont pu montrer que les kaolinites sont d'autant moins abondantes, "jeunes" et mal cristallisées que les profils sont rajeunis par érosion (et donc, enrichis en débris de roche-mère) et que les horizons sont plus profonds; pour ces auteurs, les meilleures définitions diffractométriques correspondent

(1) Cf. 2ème Partie, Chapitre VIII, 2, A, b. A la limite, on pourrait considérer que chaque galet ou fragment de galet cristallin, représente l'équivalent de la "zone de départ" des profils kaoliniques tropicaux, dans laquelle, comme l'on sait, se développent fréquemment des minéraux à 3 couches.

à des kaolinites "vieillies" dans des sites suffisamment lessivés.

Au total, l'autodéveloppement des profils au cours du temps, la cumulation des quanta d'altération et l'addition des soustractions de matière qu'elle implique, semblent devoir conduire "naturellement" à l'argilisation et à la kaolinisation des nappes (1), et au développement de caractères secondaires ou facultatifs comme les faciès rubéfiés et les cuirassements ferrugineux. Cette interprétation permet, en toute hypothèse, de faire l'économie de climats pédogénétiques prérissiens, spécifiquement favorables à l'acquisition de propriétés couramment observées en zone tropicale. Il reste cependant que l'éventualité de climats quaternaires anciens véritablement plus chauds et plus agressifs que l'actuel, doit quand même être examinée et discutée, d'autant que, comme on le sait, entre Donau et Günz, d'une part, Mindel et Riss, d'autre part, l'évolution quaternaire montre apparemment deux ruptures majeures qui appellent un certain nombre de précisions.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Processus qui, toutefois, trouvent manifestement leurs limites dès le stade du Donau, puisque les croupes des plateaux de piémont, attribuées au Pliocène, ne montrent guère de différences notables avec les nappes du Donau, à ce point de vue tout au moins.

3 - L'ALTERATION DES NAPPES PRERISSIENNES : HERITAGES PALEOCLIMATIQUES OU DUREES D'EVOLUTION DIFFERENTIELLES ?

De tout ce qui précède, l'impression se dégage clairement que la différence essentielle entre altération tropicale humide et altération tempérée réside, pour des formations de même âge et à conditions de drainage égales, dans la vitesse de décomposition des minéraux primaires propre à chaque régime climatique, beaucoup plus qu'elle ne traduit l'intervention de processus spécifiques à chaque zone : à l'échelle du globe, la zonalité des sols n'implique pas fatalement celle des processus d'altération. Le pédologue soviétique B. B. POLYNOV (1937) l'avait d'ailleurs bien vu, qui, dès le début du siècle, attribuait la formation des épais profils latéritiques tropicaux à la vitesse des hydrolyses et à la permanence de niveaux d'érosion depuis longtemps soumis à l'altération (A. A. RODE, 1961).

Tout porte donc à croire que, dans les conditions qui sont celles du piémont garonnais et ariégeois, et sous climat tempéré suffisamment humide, la lente évolution géochimique des remblaiements peut, le temps aidant, atteindre le niveau exigé par l'argilisation kaolinique (1), comblant ainsi peu à peu, en quelque sorte, le "retard" pris sur l'altération rapide de type tropical humide.

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Avec toutes les conséquences secondaires pour l'évolution des profils qu'implique le degré d'altération et d'argilisation : notamment, libération de quantités importantes de fer et sa redistribution (cuirassements ferrugineux et faciès rubéfiés).

Toutefois, on l'a vu, l'évolution des nappes au cours du Quaternaire est loin d'apparaître comme un phénomène véritablement progressif : entre le Donau et le Günz, d'une part, et, plus encore, entre le Mindel et le Riss, d'autre part, ce sont bien deux discontinuités majeures qui marquent l'évolution du piémont.

On serait donc en droit de se demander dans quelle mesure ces discontinuités ne traduisent pas certaines "dérives" positives (G. BOCQUIER, 1973) qui seraient venues perturber l'autodéveloppement des profils. Du Donau au Günz, d'abord, du Mindel au Riss, ensuite, la vitesse de l'évolution a pu être accélérée du fait de conditions bioclimatiques plus agressives, conduisant à des quanta d'altération plus importants et à des stades évolutifs plus rapidement atteints qu'ils ne l'auraient été sous des climats moins favorables.

C'est là une interprétation qui, quoique formulée dans la perspective d'un autodéveloppement des profils au cours du temps, rejoindrait alors d'une certaine manière les thèses défendues par les partisans de climats chauds antérissiens. En cette matière, il faut bien convenir qu'il n'existe aucun argument irréfutable permettant d'établir en toute certitude si, oui ou non, les épisodes prérissiens ont connu des climats véritablement plus agressifs qu'aujourd'hui. Cependant, le problème peut être sommairement abordé de diverses façons : d'abord, en considérant l'intensité des phénomènes géochimiques proprement dits; ensuite, en discutant la signification des flores et faunes "chaudes" du Quaternaire; enfin, en estimant la durée respective probable des phases de pédogénèse postérieures à chaque épisode de remblaiement.

A - Caractère relativement ménagé de l'altération kaolinique

a) Le rôle majeur des plagioclases

Dans ses minutieuses études de galets alluviaux du piémont occidental nord-pyrénéen, M. ICOLE (1973) à mis en évidence un fait important : selon cet auteur, c'est l'altération des feldspaths plagioclases qui serait responsable, presqu'à elle seule, de la néoformation des kaolinites et de la gibbsite. Les feldspaths potassiques, plus résistants, encore abondants dans le Günz mais également présents quoique plus rares dans le Donau, ne donneraient de kaolinites que dans les remblaiements les plus anciens, ceux du Donau en particulier. Les autres aluminosilicates primaires, notamment pyroxènes, amphiboles et micas, n'interviendraient pas dans ce phénomène, soit qu'ils puissent avoir été entièrement détruits (c'est le cas de certains ferromagnésiens fragiles), soit qu'ils aient subi des altérations ménagées conduisant à des argiles de type illites, vermiculites et chlorites-Al ou minéraux à 10-14 Å. On peut penser, comme tout y invite, que ces conclusions restent valables dans le piémont garonnais et ariégeois.

Ce rôle majeur des feldspaths calco-sodiques explique sans doute l'absence, maintes fois soulignée dans les chapitres précédents, de kaolinites en quantité appréciable dans les couvertures limoneuses : ces matériaux, on s'en souvient, sont en général initialement pauvres en minéraux primaires, et particulièrement en plagioclases (1). Mais on peut également se demander

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Voir page suivante.

si le fait que seule la destruction des plagioclases, minéraux très vulnérables, aboutisse à une néoformation de kaolinites, ne traduirait pas, en toute hypothèse, le caractère relativement ménagé de l'altération et, partant, une hydrolyse "climatique" elle aussi relativement modérée. On sait en effet que, dans les altérites de la zone tropicale humide, la kaolinisation de minéraux comme les biotites, par exemple, n'est pas rare (N. LENEUF, 1959; Y. TARDY, 1969) : c'est peut-être l'indice de conditions bioclimatiques bien plus favorables à l'hydrolyse brutale des minéraux primaires, que celles qui ont pu prévaloir dans notre région avant le dépôt des formations rissiennes.

b) L'abondance des minéraux non kaoliniques

Dans les profils antérissiens, la kaolinisation est loin d'être exclusive : les argiles bâties sur le modèle illitique ou

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Note de la page précédente.
Ce qui est surtout le cas dans l'avant-pays molassique. Les couvertures limoneuses des basses vallées montagnardes comportaient sans doute à l'origine plus d'aluminosilicates primaires, parmi lesquels des plagioclases : de là peut-être le fait que les limons mindéliens (Montréjeau - Saint-Gaudens) contiennent effectivement un peu plus de kaolinites qu'à l'aval des cluses (cf. 2ème Partie, Chapitre VIII, 1, A, c). On peut également se demander si, indépendamment de la présence de plagioclases, les limons évolués, tassés et à caractère planosolique fréquent, ne constituent pas un milieu à tendance plus nettement confinée que les graves, même colmatées, et moins propice en cela au développement de néoformations kaoliniques.

chloritique-Al , en particulier, et issues pour l'essentiel de la transformation des minéraux primaires ou des phyllites préexistantes, sont généralement abondantes et apparemment assez bien cristallisées, même dans le Donau pourtant fortement kaolinisé, où elles représentent encore le plus souvent entre le tiers et la moitié des stocks. Rapprochés des considérations précédentes, ces traits évoquent plutôt, eux aussi, une altération relativement ménagée : on sait, à cet égard, qu'en domaine tropical humide, dans des conditions d'humidité, d'acidité et de drainage suffisantes, les structures argileuses et même les kaolinites, pourtant très résistantes, peuvent se dégrader, sinon être détruites, tout au moins dans les horizons supérieurs des profils (J. D'HOORE, 1964; F. LELONG, 1967) (1).

Au total, intervention majeure, sinon exclusive, des plagioclases, minéraux très vulnérables aux hydrolyses, dans la néoformation des kaolinites; abondance et bonne conservation des minéraux non kaoliniques : ces caractères pourraient laisser pressentir que l'altération des nappes prérissiennes n'a pas été parti-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Rappelons que, du Mindel au Donau, les kaolinites deviennent à la fois plus abondantes et mieux ordonnées : on ne peut donc interpréter la désorganisation marquée des kaolinites mindéliennes comme la conséquence d'un épisode Mindel-Riss particulièrement agressif, auquel cas les kaolinites du Donau auraient suivi à coup sûr la même évolution, ce que leurs propriétés démentent de façon éclatante.

culièrement brutale et qu'elle a pu fort bien se développer et se renforcer peu à peu au cours du temps, sous des conditions de climats tempérés suffisamment humides. C'est là un point de vue que l'existence des faunes "chaudes", pour peu qu'on en discute la signification, ne contredit pas outre mesure.

B - Les faunes "chaudes" prérissiennes : un héritage du Tertiaire, en déséquilibre écologique ?

Dans les grottes du piémont nord-pyrénéen, on l'a vu, les récoltes paléontologiques ont mis en évidence une faune archaïque à affinité chaude, très généralement attribuée à des épisodes antérissiens, comme le sont du reste la plupart des espèces analogues recueillies dans l'ensemble de la zone tempérée (1).

Là encore, il n'est pas possible d'établir à coup sûr dans quelle mesure ces indices pourraient témoigner d'un environnement plus chaud que l'actuel. A tout le moins peut-on cependant avoir présent à l'esprit que l'existence d'espèces fossiles données dans les formations quaternaires, outre qu'elle ne revêt pas nécessairement une signification chronologique très précise, surtout dans le cas des macrofaunes (F. BOURDIER, 1972), doit être interprétée avec prudence, pour ce qui est de leurs implications paléoclimatiques. Non seulement, les organismes vivants sont dotés d'une certaine "plasticité" écologique: elle leur permet de s'adapter localement, à partir d'un certain stock faunistique ou floristique préexistant, à des milieux sinon à des bio-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. Chapitre X, 4, B, b.

topes plus favorables qu'un environnement global devenu soudainement contraignant. Non seulement, faunes et flores à exigences apparemment contradictoires coexistent bien souvent dans un même milieu, écologiquement très "ouvert" (1). Mais aussi, la valeur et la signification des trouvailles sont d'autant moins discutables que les paléobiocénoses sont bien fournies et que les témoignages concernent à la fois la faune et la flore.

De fait, si l'on s'en tient au piémont garonnais et ariégeois, les déterminations complètes portant sur des gisements attribués aux périodes antérissiennes restent encore exceptionnelles. Toutefois, l'étude de la brèche à Machairodus de Montmaurin vient d'être parachevée récemment par M. GIRARD (1973). Cet auteur, après avoir procédé à une analyse pollinique détaillée, attribue d'abord cette formation au Mindel-Riss. Les Pins (notamment le Pin sylvestre), l'Epicea et le Sapin y sont associés à la chênaie mixte (essentiellement Chênes pubescents et pédonculés) et au groupe Noisetier-Aulne. Les plantes relictuelles tertiaires sont absentes et les thermophiles "méditerranéens" comme le Chêne vert ne sont guère plus abondants qu'aujourd'hui. L'environnement du Machairodus et du Rhinocéros de Merck évoque ainsi un milieu forestier collinéen de climat tempéré doux, somme toute peu différent de l'actuel.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On pense en particulier, pour ce qui est de la flore, au "téléscopage" de la série du Hêtre-Sapin avec celle du Chêne vert (et même, exceptionnellement, du Chêne kermès), sur les versants calcaires du Plantaurel et du haut Razès.

Si l'on considère maintenant l'ensemble de l'Europe tempérée, il est clair que, de l'aube du Quaternaire jusqu'au Mindel-Riss, la proportion de plantes relictes tertiaires décroît rapidement pour devenir proche de zéro dans les dépôts les moins anciens antérieurs au Riss (1) (H. ELHAÏ, 1964, 1966, 1969; M. GIRARD, 1973). Sans doute en a t-il été de même pour les faunes, encore que ces dernières, plus "mobiles" que les plantes (H. ELHAÏ, 1964), auront pu se réinstaller plus facilement lorsque, suite à une dégradation temporaire du climat, les conditions seront devenues à nouveau plus favorables : ceci pourrait expliquer leur persistance, plus fréquente que pour les flores, jusqu'à des étapes relativement tardives du Quaternaire.

Dans cette perspective, on ne peut plus guère être assuré que la faune "chaude" prérissienne d'Europe tempérée, en général, et celle du piémont garonnais et ariégeois, en particulier, offre une signification climatique précise. Au contraire, on a le sentiment que Machairodus, Macaque, Hyène striée et, peut-être, Rhinocéros de Merck, ne représentent que des héritiers lointains et exténués, espèces à bout de souffle descendues d'un phyllum épanoui au Tertiaire (2), et dorénavant en constant

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Pour autant que ces dépôts soient correctement datés, ce dont l'on ne peut être assuré dans tous les cas.

(2) Ce pourrait être aussi le cas pour Rhododendron ponticum, récolté dans les gisements attribués au Mindel-Riss du Pays basque (F. OLDFIELD, 1967) et des Landes (M. PAQUEREAU et al., 1972); et peut-être également pour Microtopis fallax, espèce endémique aujourd'hui au Vietnam, mais recueillie, il est vrai, dans le dépôt fini-pliocène de Celleneuve (Hérault) (D. LOBREAU-CALLEN, et al., 1972 ; J. P. SUC, 1972).

déséquilibre écologique avec leur nouvel environnement, jusqu'au jour où les conditions, devenues brusquement draconiennes, conduisent à leur disparition brutale (1).

Ainsi, à ne considérer pour l'instant que les périodes généralement qualifiées d'interglaciaires par les auteurs, lesquelles correspondent pour l'essentiel à l'altération des grands remblaiements quaternaires (2), rien n'interdit de penser que, depuis le Donau tout au moins, les climats prérissiens du piémont offraient des caractérisques voisines de celles qui, aujourd'hui encore, marquent les temps postglaciaires. Les travaux les plus sophistiqués, comme ceux portant sur les Foraminifères atlantiques (D. B. ERICSON et al., 1964), de même que les synthèses les plus récentes (J. CHALINE, 1972; C. POMEROL, 1973), tendent, eux aussi, à accréditer ce point de vue.

Dans les remblaiements quaternaires du piémont l'autodéveloppement des altérations s'est donc probablement déployé au cours de longs épisodes tempérés, s'accentuant avec le temps au point de conduire à l'apparition de caractères proprement "tropicaux" au sein des profils. Il reste que, même dans cette optique, les discontinuités de l'évolution des nappes prérissiennes doivent être prises en compte.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) La disparition subite des faunes "chaudes" au Riss sera également prise en compte dans le chapitre XIII, 2.

(2) On discutera ce point de vue au début du chapitre XIII.

C - Longueur respective des phases de pédogénèse postdanubiennes et discontinuités apparentes de l'évolution

Si l'on admet que, depuis le Donau et jusqu'à l'aube du Riss, les grandes constructions antérissiennes du piémont garonnais et ariégeois n'ont connu, entre chaque phase de remblaiement, que des climats à tendance tempérée, il faut bien convenir que seule la durée d'évolution différentielle des nappes permet de rendre compte des discontinuités apparentes qui se révèlent entre le Riss et le Mindel comme entre le Günz et le Donau.

Il y a 10 ou 15 ans de cela, l'entreprise eût été hasardeuse : la durée totale du Quaternaire n'était guère estimée alors à beaucoup plus de 500 000 ans, avec un Mindel ou un Günz datés d'une centaine de milliers d'années environ (1). Aujourd'hui en revanche, les mesures radiochronologiques aidant, la limite inférieure du Pléistocène (2) est repoussée à près de 2 millions, sinon 3 millions d'années B.P. De sorte qu'entre les étages majeurs de la stratigraphie quaternaire, jusque là pressés l'un contre l'autre, l'écart s'est considérablement élargi : l'"unité de compte" chronologique, pour les périodes antérissiennes tout au

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) En 1967, C. EMILIANI évaluait encore la durée du Pléistocène à 400 000 ans.

(2) Pour autant qu'il existe une seule et unique frontière entre Tertiaire et Quaternaire, d'une région ou d'un domaine climatique à l'autre, ce qui n'est probablement pas le cas.

moins, n'est plus la dizaine de milliers d'années, mais la centaine de milliers, voire le million d'années : à ce titre, le Quaternaire est désormais une "ère" géologique à part entière.

Aussi, pour en revenir aux nappes prérissiennes du piémont, on peut fort bien considérer que plus vif est le contraste pédologique ou géochimique entre deux remblaiement successifs, plus long a été l'épisode de pédogénèse et d'altération, c'est-à-dire l'intervalle séparant deux phases de dépôt. Dans cette perspective, les deux discontinuités majeures évoquées ci-dessus traduisent probablement la durée particulièrement longue du Mindel-Riss et du Donau-Günz, la période Günz-Mindel représentant au contraire un épisode relativement bref, comme le suggère le faible gradient d'altération d'un niveau à l'autre.

Faute de possibilités de datations absolues, les matériaux volcaniques d'âge plio-quaternaire faisant totalement défaut dans la région, on ne peut évidemment apporter de preuves décisives et locales à cette interprétation. Force est donc de se rabattre sur des données établies ailleurs, avec les aléas inévitables qu'implique un tel recours. Ces données, on va le voir, ne semblent pas contredire, tout au contraire, notre modèle explicatif.

On rappellera tout d'abord que le "grand interglaciaire" Mindel-Riss des géologues alpins est connu de longue date : quels qu'aient pu être les caractères qui lui ont été assignés depuis A. PENCK et E. B. BRUCKNER, la plupart des auteurs y ont vu une période déjà longue, en regard de temps rissiens et postrissiens relativement brefs. Aujourd'hui, un grand nombre d'estimations

font commencer le Riss il y a une centaine de milliers d'années, tandis que le début du Mindel est repoussé à plus de 300 000 ans (J. CHALINE, 1972).

Cependant, d'autres travaux conduisent encore à reculer largement l'ancienneté du Mindel. On citera notamment D. B. ERICSON et al. (1964) : ces auteurs, à partir de données à la fois sédimentologiques (vitesse de dépôt des vases marines atlantiques à Foraminifères) et radiochronologiques (extrapolation, tranche par tranche, de mesures d'âge au carbone 14), repoussent le Mindel à plus d'un million d'années, le début du Riss se trouvant alors décalé vers 400 000 ans B. P. Mais, plus que l'âge précis assigné à tel ou tel dépôt, plus que les paléotempératures reconstituées par la méthode isotopique, c'est la durée respective des intervalles qui retient l'attention. La période Mindel-Riss se voit en effet créditée d'environ 600 000 ans; la durée du Günz-Mindel, en revanche, n'atteint à grand peine que 200 000 ans.

Si l'on se tourne maintenant vers un domaine beaucoup plus proche du piémont pyrénéen, le bas Languedoc, il se trouve que les données chronologiques fournies par le complexe volcanique d'Agde (datations au potassium/argon), dont les coulées fossilisent certaines terrasses de la basse vallée de l'Hérault, concordent étonnamment bien avec les faits précédents (A. SALLELES, 1967; J. BARRIERE, 1969a):

- dans la région de Saint-Thibéry - Bessan, une table basaltique, datée de 680 000 $\pm$ 60 000 ans B.P., fossilise un dépôt alluvial de l'Hérault, pratiquement non altéré : l'éruption s'est donc

produite très peu de temps après la fin du remblaiement. Mais, hors du domaine recouvert par l'épanchement volcanique, le niveau de terrasse homologue offre un degré d'évolution clairement marqué et représente la première nappe franchement altérée au-dessus des alluvions encore peu transformées : il s'agit là sans doute de l'équivalent du Mindel;

- dans le même secteur, tufs et scories du volcan d'Agde, datés de 750 000 ± 70 000 ans B.P., drapent la terrasse immédiatement plus élevée que la précédente, fort peu altérée sous l'épanchement lui-même, mais fortement décomposée et argilisée à proximité immédiate, où elle affleure. Compte tenu de sa position dans le paysage alluvial, elle peut être attribuée au Günz;

- enfin, la coulée basaltique de Valros, vieille de 1,4 à 1,6 million d'années (1), scelle des formations continentales, à épais profil d'altération très poussée, qui représenteraient soit la fin du Pliocène, soit, pour J. BARRIERE (1969a) le début du Quaternaire (c'est-à-dire, peut-être l'équivalent de notre Donau). Compte tenu de la forte altération des dépôts ainsi fossilisés, la mise en place des remblaiements apparaît comme sensiblement antérieure à l'épanchement pyroclastique.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On peut noter, du reste, que tous ces épanchements volcaniques, des plus récents aux plus anciens, ne montrent que des sols et des profils d'altération peu épais et d'allure "tempérée".

Ainsi, si l'on admet que le début du Riss se place vers 100 000 ou 150 000 ans B.P. (1), c'est à environ 500 000 ans que la durée du Mindel-Riss semble devoir être évaluée, ce que corrobore parfaitement la nette rupture entre faciès d'altération rissiens et mindéliens. Entre Günz et Mindel, en revanche, l'évolution des remblaiements antémindéliens ne se serait poursuivie que pendant un temps bien plus court, de l'ordre de la centaine de milliers d'année, d'où le contraste relativement peu marqué entre l'altération du Günz et celle du Mindel. Enfin, depuis le dépôt du Donau et jusqu'à l'aube du Günz, le fort gradient d'altération qui distingue ces deux générations de nappes peut être mis en rapport avec une durée d'évolution du même ordre que celle du Mindel-Riss, voire peut-être beaucoup plus longue encore.

Comme on le voit, une remarquable convergence se dessine entre les estimations chronologiques absolues et nos propres observations. Certes, on sait que la méthode potassium/argon n'offre pas toujours toutes les garanties nécessaires, et ce d'autant plus qu'elle s'applique à des formations d'âge inférieur à 700 000 ou 800 000 ans. Il n'en demeure pas moins qu'en cette matière, les approximations, mêmes grossières, sont préférables à l'absence totale de données. Pour nous, dès lors qu'il s'agit d'abord d'évaluer un ordre de grandeur des périodes quaternaires, ces éléments représentent des documents particulièrement précieux : notre point de vue concernant l'autodéveloppement

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Estimation courante chez nombre d'auteurs (J. CHALINE, 1972).

et la cumulation des quanta d'altération avec le temps s'en trouve renforcé. Sous cet éclairage, c'est toute une certaine conception de l'héritage paléoclimatique inscrit dans les sols et les altérations quaternaires qu'il convient sans doute de réviser.

4 - UN PROBLEME DE TERMINOLOGIE : PALEOSOLS OU "ARCHEOSOLS" ?

A - L'"Héritage" du XIXème siècle

Au terme de ce chapitre, un fait majeur s'est donc peu à peu dégagé puis imposé avec force à l'esprit : les évolutions traditionnellement imputées à des paléoclimats de type chaud, par exemple (1), des cuirassements ferrugineux aux néoformations de kaolinites, plus qu'elles ne sont l'indice de conditions écologiques révolues, traduisent d'abord et surtout l'autodéveloppement de l'altération des remblaiements avec le temps, pour peu que les climats aient été suffisamment humides et doux au cours d'une bonne partie du Quaternaire (2). Mieux, les nettes discontinuités qui s'observent entre les faciès d'altération de certaines nappes successives semblent refléter avant toute chose la longue durée des épisodes de pédogénèse antérieurs au dépôt des remblaiements immédiatement postérieurs. Rien, ni le parallèle esquissé avec les sols tropicaux, ni l'existence des faunes "chaudes" ne semble contredire très sérieusement ce schéma interprétatif.

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Ou à des climats froids, comme les sols qui auraient été "podzolisés" au cours du Würm (A. CAVAILLE, 1969 a).

(2) On retrouve une idée analogue dans J. BARRIERE (1971 b).

C'est là, nous l'admettons volontiers, une position apparemment peu nuancée et qui s'oppose assez clairement à nombre d'hypothèses "classiques" évoquées au cours des pages précédentes. En fait, on peut se demander si ces dernières, qui font la part belle aux processus d'héritage paléoclimatiques dans les sols et les altérations, ne relèvent pas précisément, dans une certaine mesure, d'un système de pensée "héritée" du XIXème siècle. C'est qu'aujourd'hui encore, nous faisons grand usage de concepts, de formulations et, en un mot, de conventions diverses, qui plongent leurs racines dans un XIXème siècle qui, fut d'abord celui des "grands voyageurs" scientifiques et aussi celui de l'inventaire détaillé des ressources et des phénomènes naturels. Depuis cette époque et jusqu'au milieu du XXème siècle, se sont esquissées puis développées les premières vues d'ensemble sur les principaux mécanismes naturels, climatiques et biologiques, pédologiques et géochimiques.

Ainsi, dans les sols des régions tropicales, la puissance des altérations, la vive coloration des profils, l'épaisseur et la fréquence des cuirasses ferrugineuses, la richesse en minéraux kaoliniques ou gibbsitiques, ont frappé les esprits au point qu'on a voulu voir une relation nécessaire et suffisante entre ces caractères et le régime climatique chaud et humide. La dimension chronologique de ces phénomènes et, plus précisément, l'effet cumulatif du temps sur l'altération, ont été d'autant plus facilement négligés que l'agressivité de ces climats s'imposait avec évidence, semblant à elle seule expliquer les modalités de l'altération. Ce qui, au départ, n'était que constat, est devenu peu à peu concept puis postulat : rubéfaction, cuirassements ferrugineux

et kaolinites évoquent alors presque mécaniquement la chaleur et l'humidité des tropiques.

Transposé aux nappes détritiques quaternaires de la zone tempérée, ce schéma semble avoir été implicitement adopté par les partisans de climats pédogénétiques prérissiens (et, parfois même, préwurmiens) nettement plus actifs qu'aujourd'hui. Pour ces auteurs, les horizons développés dans les nappes anciennes ont acquis leurs traits distinctifs au cours de ces épisodes climatiques, généralement prérissiens, qui ont pu être de longue durée, mais dont les conditions plus chaudes, par exemple, ont été véritablement décisives, faute de quoi les profils d'altération ne seraient pas ce qu'ils sont. Ces derniers représentent donc essentiellement des sols fossiles, des paléosols en déséquilibre avec le climat d'aujourd'hui, et dans lesquels l'évolution actuelle, de type tempéré, ne revêt qu'une importance secondaire. Ainsi, par exemple, les phénomènes d'hydromorphie et de "dégradation" ne correspondraient qu'à des remaniements plus ou moins récents, qui viendraient de la sorte se surimposer aux caractères hérités et imprimés une fois pour toute dans les profils. C'est là une thèse qui nous semble d'autant moins fondée, à quelques exceptions près (1), que, dans la plupart des cas, sols et altérations superficielles, on l'a vu, constituent des systèmes en autodéveloppement continu, qui semblent fonctionner encore parfaitement de nos jours.

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) On pense notamment, pour ce qui est du piémont garonnais et ariégeois, à certaines ségrégations calcaires d'âge récent, dont nous avons rapporté la formation à l'épisode sec du Würm.

B - "<u>Des sols vieux mais bien vivants</u>" (1)

De l'observation des évolutions qui marquent les remblaiements du piémont, un fait essentiel semble ressortir : pédogénèse et altération, dans leurs multiples modalités, sont toujours fonctionnelles aujourd'hui. Non seulement, la différenciation des profils dans les couvertures limoneuses würmiennes, quoique perturbée par les défrichements forestiers et la mise en culture, se poursuit activement. Mais aussi, on a pu montrer que des processus comme le développement des faciès à tendance rubéfiée, des ségrégations et concrétionnements ferrugineux, étaient déjà en germe sinon largement esquissés dans les formations rissiennes et würmiennes. Par ailleurs, on a souligné à maintes reprises le rôle majeur de l'hydromorphie dans l'évolution. Or, il est clair qu'elle ne représente pas un phénomène particulièrement "récent" comme on a pu parfois l'affirmer (M. ICOLE, 1971 a) : au contraire, là où les conditions sont favorables (et, tout particulièrement, dans les graves antérissiennes argilisées et colmatées), le développement des faciès d'hydromorphie ne fait que perpétuer une évolution d'ampleur sans doute inégale d'une période à l'autre, mais certainement amorcée depuis fort longtemps, si l'on considère les dépôts antérissiens. La preuve en est que les plages, langues et bandes de "dégradation" sont de mieux en mieux exprimées lorsqu'on passe du Riss ou du Mindel au Donau, tandis que se précisent la teinte vive des plages colorées et la pâleur des zones déferrifiées et que s'intensifient les contrastes entre les

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) A. RUELLAN (1970).

cortex des galets de quartzite, tous processus incontestablement liés à l'hydromorphie. Celle-ci, comme on l'a vu, affecte encore largement de nos jours les graves antérissiennes aussi bien que les couvertures limoneuses de tous âges.

De la même façon, la percolation verticale à légère composante oblique de l'eau à travers les remblaiements, véritable moteur de l'altération, constitue également un phénomène tout à fait fonctionnel aujourd'hui : nappes libres et perchées se vidangent chaque année sous forme de sources et suintements, chargés de substances dissoutes prélevées dans la masse des dépôts traversés.

Sols et profils d'altération développés dans les remblaiements du piémont représentent ainsi des formations plus ou moins âgées et parfois très vieilles, mais encore bien "vivantes" de nos jours. Il est vrai, cependant, que tous les processus mis en jeu dans leur évolution ne se développent pas à la même vitesse et ne se manifestent pas à des stades identiques de cette évolution. Les uns, comme le lessivage, l'hydromorphie, la redistribution du fer et le concrétionnement en greps tendres dans les couvertures limoneuses, sont plutôt rapides et apparaissent à une étape précoce de la séquence évolutive. Les autres, à l'inverse, comme l'argilisation et la kaolinisation prononcée, le cuirassement ferrugineux compact, sont bien plus lents et caractérisent ainsi un stade avancé de l'évolution. A cela s'ajoute que, précisément, les profils peuvent s'enrichir spontanément de caractères secondaires nouveaux, obligatoires ou facultatifs, dès lors qu'à partir d'un certain stade évolutif, le milieu de pédogénèse se

trouve largement modifié par son propre développement antérieur (A. RUELLAN, 1971 b). Ainsi en est-il, par exemple, des remblaiements graveleux du piémont, lesquels, sitôt nettement argilisés et colmatés, sont livrés à l'hydromorphie de nappe perchée. Celle-ci, outre qu'elle favorise sans aucun doute la néoformation de kaolinites, induit des processus secondaires dont les plus marquants portent sur la redistribution du fer : cuirassements plus fréquents et renforcement des teintes vives dans les plages non déferrifiées, notamment.

On retrouve ainsi tout naturellement le concept d'autodéveloppement des systèmes de sol avec le temps, autodéveloppement jalonné par une série d'étapes évolutives "normales", sans signification paléoclimatique autre que celle qui consiste à imaginer des climats pédogénétiques anciens suffisamment humides et doux, capables d'assurer à eux seuls l'essentiel de cette évolution. Dans ces conditions, il nous paraît assez vain d'assigner à tel ou tel processus un âge précis donné (1) : tout au plus peut-on estimer que l'un ou l'autre mécanisme à commencé à s'affirmer à une certaine période. Ainsi en est-il, par exemple, de l'argilisation et de l'amorce de kaolinisation des remblaiements mindéliens : compte tenu de l'échelle de temps évoquée un peu plus haut, il est raisonnable de penser que ces évolutions se sont ébauchées dès la seconde moitié du Mindel-Riss et qu'elle se poursuivent depuis, quels qu'aient pu être les avatars liés aux phases froides rissien-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Exception faite, une fois encore, de certaines concentrations calcaires récentes du Würm supérieur, dont le caractère relique semble attesté par l'environnement (éolisations).

ne et würmienne. Il n'est guère possible d'être plus précis, faute de témoin valable de l'épisode Mindel-Riss, qui se serait perpétué jusqu'à nous. Il nous semble en tout cas à la fois illusoire et abusif d'attribuer systématiquement à un "événement" pédologique donné l'âge du niveau dans lequel il se manifeste (ou, ce qui revient au même, l'âge de l'"interglaciaire" ou de la phase immédiatement postérieurs) puisque d'une part cet "événement" pédologique représente bien souvent une création continue et que, d'autre part, il a fort bien pu survenir dans ce remblaiement après le dépôt d'une génération de nappes plus récente : ainsi sommes-nous porté à croire que, dans la perspective d'un Günz-Mindel relativement court, de l'ordre de 100 à 200 000 ans, l'argilisation kaolinique du Günz a dû s'esquisser seulement dans la première partie de la longue phase Mindel-Riss.

A cet égard, il nous apparaît que la distinction n'a pas toujours été clairement établie entre deux ensembles de phénomènes, solidaires l'un de l'autre, certes, mais dont les significations sont totalement différentes à nos yeux :

- d'une part, l'héritage géomorphologique ou sédimentologique, essentiellement incarné dans le piémont garonnais et ariégeois par les 5 grandes générations de remblaiements mis en place depuis la fin du Pliocène et qui, construites une fois pour toutes à diverses périodes du Quaternaire, témoignent, par leur seule existence, de conditions paléoclimatiques bien différentes d'aujourd'hui (1);

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) On reviendra quelque peu sur ce problème dans le Chapitre XIII.

- d'autre part, les sols et les profils d'altération sans doute plus ou moins "hérités" eux aussi puisqu'associés aux remblaiements évoqués ci-dessus, mais dont l'évolution exprime avant toute chose une certaine étape de l'autodéveloppement avec le temps, étape précisément matérialisée dans l'espace par les profils déployés au sein d'une nappe donnée.

Dans l'un et l'autre cas, le sens du terme "héritage" n'est pas le même, d'où un certain nombre de confusions sans doute inévitables : ainsi, à chaque forme héritée, correspondrait nécessairement un paléosol (1) (J. TRICART, et al., 1965), tandis que la forme ou le tracé géomorphologiques de niveaux ou de remblaiements déterminés permettraient d'éclaircir les modalités climatiques de leur pédogénèse (G. GAUCHER, 1972). En fait, il n'en est rien puisque, comme on le verra plus loin, à l'échelle globale du Quaternaire tout au moins, les conditions bioclimatiques de la morphogénèse sont radicalement différentes de celles qui président à la pédogénèse, celle-ci témoignant surtout, à quelques exceptions démontrables près, de l'effet cumulatif du temps. Si héritage il y a, celui-ci traduit d'abord beaucoup plus l'ancienneté relative du début de l'évolution qu'il n'implique l'intervention de climats spécifiques; en outre, il est clair qu'il ne représente qu'un héritage à la fois partiel et "dynamique", puisqu'aussi bien l'évolution se poursuit encore activement de nos jours.

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Au sens le plus courant du terme, qui implique une formation "fossile" dont les caractères attestent des conditions écologiques révolues aujourd'hui (cf. infra).

Retour à un actualisme si fortement décrié depuis quelques décennies par nombre de géomorphologues ? Si l'on veut ... Mais à condition de savoir que cette sorte d'actualisme ne contredit en rien l'interprétation véritablement paléoclimatique de la morphogénèse plio-quaternaire; et, aussi, qu'il s'inscrit dans la perspective beaucoup plus riche de l'autodéveloppement des systèmes de sols au cours de longues durées d'évolution. Sous cet éclairage, tout invite à réexaminer la notion et le concept de paléosol.

C - Paléosols et "archéosols"

Ces dernières années, l'attention a été attirée sur la définition et les limites d'emploi du terme paléosol (P. DUCHAUFOUR, 1968, 1970; M. ICOLE, 1970 b; J. BARRIERE, 1971 b; A. RUELLAN, 1971 b; D. H. YAALON, 1971). Consacrée par l'usage, cette expression est en principe réservée à des formations plus ou moins anciennes développées dans des conditions écologiques aujourd'hui révolues et dont les caractères, théoriquement peu compatibles avec l'évolution actuelle, attestent précisément la réalité. C'est, semble-t-il, pleinement le cas pour des sols ou horizons fossiles enterrés sous des matériaux plus récents. Ainsi, les altérites à kaolinites et gibbsite de la Montagne Noire (carrière d'Encouloum) et du Massif central méridional (1), représentent-elles peut-être des témoins de puissantes altérations de la fin du Paléogène, souvent tronqués et ensevelis sous d'épaisses couches d'argiles à graviers. De la même façon, dans les molasses oligo-mio-

(1) M. MOULINE, communication orale.

cènes du Bassin Aquitain, nous avons pu assimiler toute une série de profils empilés les uns au-dessus des autres à des paléosols tertiaires (F. CROUZEL et al.). Cependant, tronqués ou non, les paléosols enterrés sont rares car difficiles à observer en place.

Pour les formations affleurant à la surface, en revanche, définir et désigner un paléosol est d'autant moins facile que cette expression ne laisse pas d'être équivoque en elle-même. Nombre d'auteurs l'appliquent en effet systématiquement aux profils développés dans des niveaux ou dépôts anciens, en particulier, lorsqu'il s'agit de remblaiements alluviaux. Pour les uns, l'emploi de ce terme est justifié puisqu'il implique l'existence de paléoclimats pédogénétiques fort différents de l'actuel, dont témoigneraient précisément les propriétés du sol. Pour d'autres, au contraire (notamment, les pédologues de l'INRA - Montpellier et, surtout, de la CNABRL - Nîmes), cette appellation n'offre pas nécessairement une signification paléoclimatique précise : elle indique simplement l'ancienneté de la pédogénèse, sans préjuger des conditions climatiques qui prévalaient alors (J. BARRIERE, 1971 a; H. ARNAL, 1972). Du reste, ces auteurs qualifient également de paléosols les profils développés dans les formations récentes, rissiennes et würmiennes, du Rhône et du bas Languedoc.

Plus souple et plus restrictive à la fois, l'expression de "paléocaractère" est également employée (A. RUELLAN, 1971 b) : associés à des propriétés qui sont apparemment en équilibre avec l'environnement actuel, les paléocaractères rappellent à eux seuls les vicissitudes climatiques du passé (1). Cependant,

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) On connaît, à cet égard, toute la gamme des formulations telles que : sols polyphasés, sols polygéniques, sols polycycliques...

tout comme les paléosols, ces paléocaractères peuvent désigner aussi bien des faciès "anciens" que des faciès "fossiles", reliques : dans l'un et l'autre cas c'est le préfixe "paléo" qui prête à confusion.

C'est la raison pour laquelle on pourrait proposer l'adoption d'un nouveau terme, qui rendrait l'expression paléosol à sa destination première. Ce faisant, nous n'avons pas conscience de sacrifier à une quelconque manie du néologisme : le souci de clarté en est la seule motivation. Nous suggérons tout simplement l'emploi du mot "archéosol" (du grec arkhaios : ancien) pour désigner des sols ou des ensembles d'horizons très évolués, superficiels ou proches de la surface mais pouvant atteindre des épaisseurs notables, dont la pédogénèse, encore fonctionnelle aujourd'hui selon toutes apparences, a commencé à une époque très reculée dans le temps, déterminant ainsi fréquemment l'apparition de caractères radicalement différents de ceux qui marquent les sols plus récents ou de genèse actuelle. De façon générale, les archéosols n'offrent pas en eux-mêmes de signification paléoclimatique précise.

Dans cette optique, l'expression de paléosol (ou, au besoin, de paléocaractère) serait réservée d'une part, aux formations qui, par leurs propriétés, témoignent incontestablement de conditions climatiques passées nettement différentes de celles qui règnent aujourd'hui; d'autre part, à tous les sols ou horizons profondément enterrés (1), quelle que soit par ailleurs la signification paléoclimatique qui leur est attribuée.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Si possible à une profondeur telle qu'ils échappent largement à l'activité bioclimatique actuelle.

D'emblée, une remarque s'impose : l'introduction d'un nouveau vocable ne constitue en rien une panacée et ne prétend pas résoudre, comme par enchantement, tous les problèmes soulevés par l'interprétation des pédogénèses et des altérations anciennes. Les formations que nous regardons, pour notre part, comme des archéosols, certains auteurs ne cesseront pas pour autant de les considérer comme des paléosols, anciens certes, mais significatifs d'épisodes climatiques spécifiques. De même, il est bien des cas où les désignations sont délicates : où placer la limite entre archéosols et sols "tout court" ? Dans le piémont nord-pyrénéen, les profils développés dans les nappes würmiennes ou rissiennes peuvent-ils déjà être assimilés à des archéosols peu évolués ? Cela est parfaitement concevable mais, dans l'état actuel des choses, nous serions plutôt partisan de réserver l'apellation d'archéosol, le cas échéant, aux formations antérissiennes, profondément altérées et à caractères évoquant ceux des régions tropicales.

En définitive, si les problèmes demeurent, l'emploi conjugué des termes paléosol et archéosol pourrait se justifier, croyons-nous, dans la mesure où serait levée une certaine ambigüité : chacun de ces vocables traduirait ainsi sans équivoque l'une ou l'autre interprétation paléoclimatique.

Il va sans dire que si, dans notre esprit, les remblaiements quaternaires antérissiens du piémont portent, pour l'essentiel, des archéosols, de la même façon, les greps épais, l'intense "dégradation" hydromorphe des profils avec ses conséquences sur le développement des faciès rubéfiés et la genèse des cortex de galets, la néoformation de kaolinites, représentent à nos yeux des

"archéocaractères". Seuls, on l'a vu, certaines concentrations calcaires des loess, des terrasses würmiennes et des replats du Terrefort, peuvent sans doute être assimilés à des paléocaractères récents, acquis lors de l'épisode climatique sec de la seconde partie du Würm.

Quoi qu'il en soit, et quel que puisse être le sort réservé au concept d'archéosol, il reste que, non seulement sols et altérations du piémont représentent pour nous des systèmes actuellement largement fonctionnels, dont le début de l'évolution remonte plus ou moins loin dans le passé; mais aussi que, compte tenu de la durée des temps quaternaires et de la faiblesse des arguments paléontologiques, les caractères spécifiques des remblaiements prérissiens peuvent raisonnablement être mis en relation avec des climats pédogénétiques de type tempéré, peu différents de l'actuel. C'est dans cette perspective que l'évolution morphoclimatique du piémont garonnais et ariégeois peut être envisagée.

CHAPITRE XIII

PEDOGENESE, MORPHOGENESE ET PALEOCLIMATS DANS LE PIEMONT GARONNAIS ET ARIEGEOIS : ESSAI DE SYNTHESE

CHAPITRE XIII

PEDOGENESE, MORPHOGENESE ET PALEOCLIMATS DANS LE PIEMONT GARONNAIS ET ARIEGEOIS : ESSAI DE SYNTHESE

Dans les chapitres antérieurs, l'accent a été mis sur les types de pédogénèse et d'altération et leur signification climatique, en rapport avec les durées d'évolution. Il reste cependant que le Quaternaire correspond avant toute chose à une période morphogénique de première importance : alluvionnements et creusements, érosions et remblaiements se sont produits tour à tour, imprimant peu à peu aux paysages leur physionomie actuelle. Il convient donc maintenant d'élargir les perspectives et d'intégrer tant soit peu les conclusions précédentes aux données de la morphologie.

Cette entreprise, on s'en doute, a ses limites. Il est clair, en effet, que, faute d'indices absolument probants, nous ne disposons, pour le Quaternaire prérissien au moins et, a fortiori. pour le Pliocène, que d'un nombre très insuffisant de jalons. A lui seul , ce fait justifie que nous présentions à part d'abord le Quaternaire récent, marqué par les glaciations; ensuite, les temps

prérissiens, que leur durée et leur ancienneté singularisent à coup sûr. Auparavant, toutefois, il nous faudra examiner quelque peu l'hypothèse de glaciations prérissiennes et présenter les arguments qui militent en faveur de climats morphogéniques prérissiens à tendance semi-aride.

Mais, avant même que d'aborder ces problèmes, il est sans doute nécessaire de préciser les deux grandes hypothèses de travail, faute desquelles l'interprétation morphoclimatique d'ensemble resterait trop imparfaite.

1 - DEUX HYPOTHESES DE TRAVAIL

A - Phases de morphogénèse et phases de pédogénèse

La première de ces hypothèses de travail, qui semble d'ailleurs assez couramment admise par la plupart des auteurs (1), a trait à la distinction entre phases de morphogénèse et phases de pédogénèse : nous y avons, implicitement ou non, fait allusion dans les pages précédentes . Pour se manifester avec quelque efficacité, pédogénèse et altération exigent en effet un minimum de stabilité morphologique. On est donc en droit de supposer que, durant les phases d'érosion des versants et de remblaiements, les nappes en voie d'édification ne subissaient qu'une évolution

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Et parfois bien explicitée et intégrée à un schéma évolutif d'ensemble (notamment G. BEAUDET et al., 1967 - au Maroc -; J. TRICART, 1973).

pédologique relativement négligeable. Toutefois, à ces mêmes périodes, pédogénèse et altération continuaient sans doute à se développer, plus ou moins rapidement selon les climats morphogéniques, dans les formations mises en place au cours d'épisodes plus anciens. En revanche, lors des périodes d'assoupissement de la morphogénèse correspondant à l'interglaciaire Riss-Würm et aux "interphases" antérieures, c'est dans l'ensemble des dépôts que l'altération se poursuivait ou s'esquissait, comme elle le fait aujourd'hui encore.

a) Biostasie et rhexistasie

L'alternance morphogénèse - pédogénèse s'intègre donc parfaitement au modèle bio-rhexistasique de H. ERHART (1956, 1967). De fait, s'il est un domaine auquel cette théorie générale peut être appliquée avec profit, c'est bien de l'évolution morphoclimatique et pédologique quaternaire qu'il s'agit. Bassins versants plus ou moins dénudés, érosions généralisées là au moins où la pente l'autorisait, forment le contrepoint obligatoire de climats rhexistasiques trop froids ou trop secs, avec leurs conséquences directes sur le ruissellement et sur le rapport débit/charge des cours d'eau et les remblaiements qui en résultent. Au contraire, les phases de repos morphogénique, pendant lesquelles triomphent pédogénèse et altération, activées par la douceur des températures, la régularité de l'humidité et, éventuellement, l'abondance de percolats humiques issus d'un manteau vivant désormais bien fourni, ces périodes postulent nécessairement l'existence de conditions typiquement biostasiques. Hauts bassins

versants montagnards, interfluves molassiques, dépôts et alluvions antérieurement mis en place étaient alors sans aucun doute dotés d'une couverture végétale efficace, suffisante en tout cas pour assurer au mieux la protection des versants (1) et permettre ainsi une reprise de creusement par des cours d'eau dorénavant peu chargés. Phases d'incision, donc également phases d'érosion, si l'on veut, mais combien marginales au regard des précédentes, car conduisant à des formes spatialement très réduites et strictement circonscrites, liées à l'érosion linéaire des rivières et aux sapements bordiers qu'elles déterminent.

Rhexistasie et biostasie semblent donc rendre compte de façon satisfaisante des grandes lignes de l'évolution morphoclimatique et pédologique au cours du Quaternaire. Il reste cependant que la notion d'hétérostasie, développée également par H. ERHART, ne peut, elle non plus, être totalement ignorée en cette matière.

b) Hétérostasie et phénomènes morphogéniques secondaires

Aujourd'hui comme par le passé, les paysages, même les plus strictement "naturels", sont formés d'une mosaïque de "facettes écologiques", plus ou moins vastes et homogènes selon l'échelle d'observation. Par définition, et à certaines exceptions

(1) Si l'on excepte du moins des phénomènes relativement banaux comme solifluxions et coulées boueuses, qui, dans des conditions stationnelles favorables, peuvent survenir même sous couverture végétale fournie (cas fréquent en Terrefort du Volvestre).

près, l'espace est discontinu, "rugueux" (1), et ce d'autant plus que disparités lithologiques, morphostructures et morphosculptures multiplient à l'infini les contrastes topoclimatiques et édaphologiques, auxquels vient s'ajuster l'exploitation biologique, et qu'exprime en particulier la stabilité différentielle des versants (2).

Ainsi, pour s'en tenir aux phénomènes périglaciaires, il est clair que les actions cryergiques constituent un exemple frappant d'hétérostasie "lithologique", dès lors que, dans notre région, les versants en roche calcaire gélive portent, presque à eux seuls, la marque des froids glaciaires. De la même façon, on verra plus loin que l'hétérostasie liée à la diversité des situations topographiques permet de comprendre la localisation des loess et des secteurs éolisés de l'avant-pays molassique.

Mais l'hétérostasie n'offre pas seulement une dimension spatiale, tributaire des discontinuités de l'espace à un moment donné. Elle peut se concevoir également comme un phénomène tem-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) J. GASTALDI, "Le Monde", 20/09/1973, p. 16.

(2) On retrouve ici le modèle spatial de A. CAILLEUX et J. TRICART (J. TRICART, 1965, 1972) et, plus encore, celui de G. BERTRAND (1968, 1969) dans lequel l'espace "naturel", au sein d'un même géosystème, est composé de géofaciès et de géotopes, dont ni l'origine, ni la dynamique et l'état d'équilibre, ne sont en tout point comparables.

porel, pour peu qu'on passe à une échelle d'observation plus fine. Ainsi, au cours d'un épisode globalement rhexi - ou biostasique, des conditions temporairement contraires peuvent-elles se manifester de manière sporadique et pendant une durée plus ou moins longue. On pourrait multiplier les exemples à cet égard. Le Würm, en particulier, est globalement rhexistasique, froid et humide à l'échelle des temps quaternaires. Mais dès lors qu'on étudie son déroulement de façon plus précise, c'est non seulement le stade terminal, plus sec et sans doute déjà moins froid, qui se révèle; mais aussi dans l'ensemble de l'Europe tempérée, c'est bien toute une gamme d'interstades biostasiques à climat modéré et à couvertures forestières feuillues qui ont été mis en évidence, sans que ces conditions se soient pour autant obligatoirement marquées dans le modelé et la pédogénèse superficielle, comme c'est le cas dans le piémont garonnais et ariégeois.

Aussi bien, les successions de flores suggérées par les diagrammes polliniques (H. ELHAÏ, 1969; M. T. MORZADEC-KERFOUN, 1969), les migrations nombreuses et saccadées des Rongeurs (J. CHALINE et al., 1969; J. CHALINE, 1970), comme les courbes de paléotempératures établies par D. B. ERICSON et al. (1964), invitent à penser que tout au long du Quaternaire, de courts épisodes biostasiques sont venus assoupir, un moment durant, les phénomènes de morphogénèse rhexistasiques, tandis qu'à l'inverse, des stades à caractères rhexistasiques perturbaient quelque peu la stabilité des périodes biostasiques. Dans cette optique, les paliers qui accidentent fréquemment les terrasses alluviales du piémont traduiraient-ils, pour une certaine part,

une rémission temporaire dans les processus d'érosion et de morphogénèse et la reprise, rapidement enrayée, du creusement des cours d'eau (1) ? Cela n'est pas totalement exclu, encore que la démonstration en soit rigoureusement impossible.

En fait, et pour s'en tenir à l'origine des phénomènes secondaires de remblaiement-creusement survenant au cours d'un même épisode globalement rhexi- ou biostasique, le concept d'hétérostasie climatique chronoséquentielle évoqué ci-dessus est sans doute très insuffisant. Il faut tenir compte, en effet, de cette sorte d'hétérostasie "fonctionnelle" qu'implique la dynamique propre à chaque secteur des cours d'eau. D'un point à l'autre de ces derniers, on a déjà noté que le rapport débit-charge peut varier spontanément, s'ajustant ainsi localement aux conditions chaque fois renouvelées de pente, de lithologie, de confluence (2), et ceci indépendamment de l'environnement climatique global (3). Ainsi

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) A l'inverse, on pourrait imaginer, par exemple, qu'une part des alluvions postglaciaires récentes du piémont, déposées dans les lits majeurs, résulte de la dégradation anthropique des bassins versants pyrénéens, probablement amorcée dès l'époque gallo-romaine et partiellement enrayée depuis le XIXe siècle, lors de la mise en oeuvre d'une politique de restauration forestière en montagne.

(2) Facteurs qui, on l'a vu, rendent comptent dans une large mesure des décalages altimétriques entre terrasses synchrones le long d'un même cours d'eau.

(3) Et, a fortiori, du niveau de base marin, au demeurant beaucoup trop éloigné du piémont, non plus que d'un niveau de base local qui, comme l'a d'ailleurs noté F. TAILLEFER (1951 a) à propos de la confluence Garonne-Tarn, ne semble pas avoir notablement influencé les modalités du creusement.

pourraient s'expliquer pour une large part les petits épisodes de creusement modéré intervenus pendant une phase rhexistasique de remblaiement et dont est résultée la formation de paliers alluviaux discontinus dans une même génération de nappes. De fait, tout au long du bref Postglaciaire, Ariège et Garonne surtout ont très inégalement abaissé leurs lits, creusant nettement ici, mais fort médiocrement ailleurs et abandonnant alors banquettes alluviales, ramiers et dépôts limoneux, jusqu'à recouvrir localement leurs basses plaines würmiennes et même se substituer par endroit à elles, ce qui est le cas pour la Garonne à l'aval de Toulouse (A. CAVAILLE, 1965).

En définitive, n'était la dynamique propre aux cours d'eau et l'influence des grands traits morphostructuraux et lithologiques, le couple bio-rhexistasique et, à une tout autre échelle, l'hétérostasie, semblent représenter un modèle climatique satisfaisant de l'évolution morphologique du piémont. Encore faut-il être assuré que celle-ci n'exprime pas outre mesure l'intervention de facteurs internes, d'ordre tectonique.

B - La relative stabilité du sol depuis le Pliocène

Doit-on voir, dans l'alternance très générale de creusements et remblaiements au cours du Quaternaire, l'effet conjugué d'un soulèvement progressif ou saccadé du piémont nord-pyrénéen (et sans doute aussi des Pyrénées dans leur ensemble) et de plusieurs crises climatiques postpliocènes (L. GORON, 1941;

H. ENJALBERT, 1960; A. CAVAILLE, 1969 a) ? Ou bien, au contraire, les oscillations du climat expliquent-elles, à elles seules, tous ces phénomènes (F. TAILLEFER, 1951 a)?C'est ce dernier point de vue qui nous semble, de loin, le moins conjectural, et cela pour trois raisons majeures.

- D'une part, en effet, aucun indice sérieux de tectonique récente n'a pu être mis en évidence dans la région. Dans le centre du Bassin d'Aquitaine, les molasses oligocènes et miocènes n'ont pratiquement pas été déformées depuis leur dépôt : rejets et décrochements y sont extrêmement modestes (F. CROUZEL, 1957) (1). Par ailleurs, on a montré dans un chapitre antérieur (2) à quel point l'hypothèse "mobiliste", avancée par H. ENJALBERT (1960) pour expliquer le caractère culminant des cailloutis de Lomagne, nous paraissait peu crédible.

- D'autre part, la comparaison avec des régions voisines où la néotectonique s'est apparemment mieux manifestée nous semble digne d'intérêt. On sait en effet que tout le pourtour méditerranéen a été marqué par des mouvements plus ou moins récents, qui ont affecté en particulier certaines nappes alluviales quaternaires (J. DRESCH, 1969). Probablement le bas Languedoc n'a t-il pas échappé à cette règle : non seulement, comme on l'a vu, les phénomènes volcaniques n'ont pas été rares depuis le Pliocène, mais l'alternance creusements-remblaiements dans

---

(1) Et, pour le sud-est aquitain, M. MOULINE (communication orale).

(2) Chapitre X, 3.

les vallées semble avoir été nettement perturbée par endroit. Ainsi la moyenne vallée de l'Orb montre-t-elle jusqu'à 12 terrasses bien distinctes, étagées les unes au-dessus des autres (J. BARRIERE, 1969 b); de même, dans la basse vallée de l'Hérault, des niveaux séparés par des talus clairement délimités et continus ne ressortissent apparemment qu'à un seul et unique étage stratigraphique, Günz ou Mindel selon le cas (J. BARRIERE et al., 1971) (1). Dans l'avant-pays garonnais et ariégeois, et particulièrement entre Boussens et Toulouse, les 5 grandes générations de remblaiements alluviaux offrent en revanche une belle régularité, localement troublée il est vrai par l'existence de paliers, lesquels sont cependant faiblement marqués dans la topographie et s'expliquent suffisamment bien par les phénomènes d'hétérostasie ou de dynamique des cours d'eau. C'est pour nous l'indice que, depuis le Pliocène au moins, l'ensemble du piémont garonnais et ariégeois a connu une relative stabilité.

- Enfin, si l'on ne considère que la période postglaciaire, on remarquera que 10 000 ans environ ont suffi pour qu'à l'aval des cluses, Garonne et Ariège s'inscrivent le plus souvent 10 à 25 m en contrebas de leurs terrasses würmiennes. Cette observation renforce le point de vue selon lequel les oscillations climatiques quaternaires sont responsables, pour l'essentiel, de la disposition

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Notons également que F. ELLENBERGER et al. (1967) ont évoqué la probabilité de jeux de faille pliocène et quaternaire dans le Narbonnais et que P. BIROT (1969) a pu reconnaître certains mouvements de flexure rissiens ou postrissiens dans la basse vallée de l'Orbieu.

étagée des remblaiements alluviaux dans le piémont. Deux d'entre elles, parmi les plus récentes, correspondent sans aucun doute aux épisodes glaciaires du Riss et du Würm. Les phases morphogéniques antérissiennes, en revanche, n'impliquent pas fatalement la constitution de puissantes réserves de glace dans les Pyrénées.

2 - LE PROBLEME DES GLACIATIONS ANCIENNES

Monoglacialisme ou polyglacialisme ? Cette question a déjà été quelque peu débattue dans un chapitre antérieur (1) : données morphologiques et pédologiques nous ont conduit à admettre l'existence de deux périodes glaciaires distinctes, Riss et Würm, dans le piémont garonnais et ariégeois. Pourtant, l'éventualité de glaciations antérissiennes dans les Pyrénées a été invoquée depuis longtemps et à plusieurs reprises par de nombreux auteurs.

A - L'absence de preuves directes de phases glaciaires antérissiennes

A la suite des auteurs anciens (notamment E. HARLE, 1898 et G. DENIZOT, 1923), L. GORON (1941) voyait dans toutes les terrasses alluviales sous-pyrénéennes des formations fluvioglaciaires "correspondant à la zone de dispersion des produits morainiques". Outre certains indices de morphologie glaciaire (façonnement des versants de vallée), son argumentation reposait essentiellement sur le fait que, dans la région prépyrénéenne, les nappes

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Chapitre X, 2, C

qui, actuellement, ne se rattachent pas à des vallums ou à des dépôts morainiques identifiables, sont formées d'un matériel alluvial grossier mal classé, analogue à celui des terrasses fluvio-glaciaires plus récentes.

L'interprétation de H. ALIMEN (1964) n'est pas fondamentalement différente. Pour cet auteur, en effet, l'hétérométrie des alluvions prérissiennes de la Bigorre, la morphométrie des galets comme la distribution des fractions sableuses dans les matrices, signalent l'origine fluvio-glaciaire des épandages. Seul, le Pliocène des plateaux de piémont traduirait une mise en place par des écoulements de type torrentiel, tandis que le Donau offrirait un caractère moins nettement fluvio-glaciaire que celui des nappes postérieures.

En fait, il faut bien convenir que tous ces indices restent fragiles et n'emportent pas la conviction. Ni les données de la sédimentologie, ni celles de la morphologie glaciaire ne permettent en effet d'apporter la preuve décisive d'épandages glaciaires antérissiens. Dans les remblaiements alluviaux de la bordure pyrénéenne, l'hétérométrie du matériel exprime sans doute avant tout la proximité de la montagne et ne trahit pas nécessairement son origine fluvio-glaciaire. Par ailleurs, on sait qu'en matière de morphométrie des galets, les indices d'émoussé et d'aplatissement, par exemple, doivent être interprétés avec beaucoup de prudence (J. TRICART, 1965). Enfin, on peut se demander dans quelle mesure la granulométrie des matrices (au demeurant très modifiées par l'altération et l'argilisation), de même que la morphoscopie (ou l'exoscopie) des sables quartzeux, permettent de distinguer

clairement les remblaiements purement fluviatiles des nappes fluvio-glaciaires (F. TAILLEFER, 1966; L. LE RIBAULT, 1972 a)(1).

Mais surtout, et contrairement aux terrasses alluviales rissiennes et, plus encore, würmiennes, la relation entre les phases de remblaiement et d'éventuelles glaciations antérissiennes n'a pu être nulle part mise en évidence. Ni dans les Pyrénées occidentales et centrales (F. TAILLEFER, 1949; G. VIERS, 1960, 1969a; P. BARRERE, 1963, 1969), ni dans les Pyrénées orientales (G. VIERS, 1961, 1963, 1966, 1969 b), "hautes" terrasses ou éventuellement, glacis, généralement homologues de niveaux mindéliens, ne peuvent être reliés à d'authentiques formes d'accumulation glaciaire. A cet égard, rappelons que, pour nous, il ne fait aucun doute que le glaciaire"ancien" de Seilhan (Garonne) et de Foix-Cadirac (Ariège), représente des dépôts encore relativement récents, abandonnés lors du maximum glaciaire rissien. La "haute" terrasse fluvio-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) En matière de morphoscopie ou d'exoscopie des sables quartzeux, seules certaines modalités du transport par l'eau peuvent être révélées par l'état de surface des grains : transport par cours d'eau lents, d'une part (légère dissolution de la pellicule de silice, dépôts siliceux locaux, rareté des traces de chocs); par cours d'eau rapides ou torrentiels, d'autre part (nombreuses traces de chocs, dissolution plus poussée de la pellicule de silice amorphe), tous ces caractères pouvant être plus ou moins modifiés par l'altération postérieure au dépôt (L. LE RIBAULT, 1972 a). Les périodes rhexistasiques de remblaiement postulant pour l'essentiel des écoulements chargés, doués d'une énergie cinétique suffisante, au moins en bordure de la montagne, il est rigoureusement impossible de faire la part entre l'origine fluvio-glaciaire et celle, purement fluviatile, des matériaux transportés.

glaciaire rissienne de Fourcade-Seilhan n'est pas plus à l'origine de celle, mindélienne, de Montréjeau - Saint-Gaudens, que le remblaiement de Cadirac-Le Cussol ne prolonge, à l'amont, la nappe mindélienne de la haute Boulbonne (1).

Jusqu'à preuve du contraire, le façonnement des remblaiements antérissiens ne peut donc être mis en rapport avec une avancée des glaces sur la bordure pyrénéenne. Certes, rien n'interdit d'imaginer, comme cela a d'ailleurs été fait (L.GORON, 1941; H. ALIMEN, 1964), que la progression des glaciers rissiens a entièrement effacé les traces de la morphogénèse glaciaire antérieure : après tout, l'avancée des langues würmiennes n'a-t-elle pas, elle aussi, considérablement réduit l'importance des constructions morainiques rissiennes, au point que, dans le piémont garonnais et ariégeois, celles-ci ne s'observent plus qu'en quelques secteurs très localisés ? Cet argument serait recevable si d'autres indices, de diverse nature, n'invitaient à penser que, depuis l'aube du Quaternaire jusqu'au Mindel y compris, les épisodes rhexistasiques de morphogénèse active ont connu des climats sensiblement différents de ceux qui prévalaient lors des périodes glaciaires rissienne et würmienne.

- -

(1) L'origine des blocs erratiques cristallins qui, au-dessus de l'Ariège, parsèment le Pech de Varilhes à la sortie de la cluse du même nom, avait été attribuée par D. FAUCHER (1937) puis L. GORON (1941) à une puissante langue glaciaire ancienne, qui aurait véritablement débordé hors des limites de la montagne. En fait, F. TAILLEFER (1951 a) a montré qu'il s'agissait là d'éléments issus du démantèlement des poudingues éocènes qui forment l'ossature du Pech de Varilhes.

B - Les présomptions d'une mise en place sous climat semi-aride des nappes prérissiennes

a) La rupture paléontologique du Riss

Dans les remplissages de grottes calcaires du piémont, les complexes faunistiques attribués à des épisodes antérissiens ne comportent pas exclusivement des espèces à affinité chaude (1). S'y révèlent en effet quelques restes d'animaux comme le Cheval, le Blaireau, le Loup, l'Ours brun et même parfois le Cerf élaphe; c'est le cas en particulier à Montmaurin (L. MEROC, 1953; M. GIRARD, 1973). Mais ces témoins de faunes à écologie tempérée, sinon froide, sont bien rares et disséminés parmi d'abondantes reliques d'espèces "chaudes". D'autre part, ils semblent concerner surtout les couches supérieures les plus récentes des remplissages (M. BOULE, 1902; R. de SAINT-PERIER, 1922). Enfin, les associations d'espèces à affinité franchement froide n'apparaissent pratiquement jamais dans les complexes faunistiques antérissiens : les paléobiocénoses à Ours des cavernes, Renne, *Elephas primigenius* ou *E. trogontherii*, ne caractérisent que des gisements de grottes dont la situation morphologique et l'ouverture plaident en faveur d'un âge postérieur à l'épisode Mindel-Riss (L. MEROC, 1953).

A l'inverse, si l'on considère que nulle part ces remplissages récents n'ont livré d'espèces à affinité chaude, alors

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. Chapitre XII, 3, B.

qu'un gîte fossilifère comme celui de Montmaurin, riche en faunes "chaudes", semble devoir être attribué au Mindel-Riss (M.GIRARD, 1973), on a le sentiment que le début du Riss correspond à une rupture paléontologique de première importance (1). Tout se passe comme si la faune "chaude" antérissienne, héritée du Tertiaire et en déséquilibre écologique, s'était tant bien que mal maintenue et adaptée aux vicissitudes climatiques, jusqu'au jour où les conditions bioclimatiques du Riss, trop contraignantes, ont entraîné sa rapide extinction.

C'est peut-être l'indice que, jusqu'au début de la période glaciaire rissienne, les phases de morphogénèse connaissaient des climats nettement moins rigoureux que ceux du Riss et du Würm. Climats moins froids, sans doute, mais probablement aussi beaucoup moins humides, si l'on tient compte de certains caractères sédimentologiques et morphologiques inscrits dans le piémont garonnais et ariégeois.

b) Epaisseur des nappes et taille des éléments grossiers

On se bornera à quelques observations, certes très rudimentaires, mais qui ne semblent pas totalement dénuées d'intérêt,

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cette rupture se marque d'ailleurs plus ou moins clairement dans l'ensemble de l'Europe tempérée, avec l'apparition au Riss d'*Elephas primigenius*, du Renne et de l'Ours des cavernes, tandis que s'éteint le célèbre *Rhododendron ponticum* (J.CHALINE, 1972).

dès lors qu'il s'agit uniquement de comparer les remblaiements entre eux (1).

En premier lieu, et si l'on s'en tient à l'avant-pays molassique (2), il convient de remarquer que la puissance des nappes würmiennes et rissiennes, assez constante de l'amont vers l'aval, se situe le plus souvent entre 3 et 5 m, et ne dépasse que rarement 6 - 7 m, comme à proximité du château de Martres ou de Mazères, là où le plancher molassique se trouve avoir été surcreusé. Par ailleurs, depuis les cluses prépyrénéennes jusqu'au confluent du Tarn, la taille des galets décroît très progressivement. Ainsi, les gros éléments, qui peuvent dépasser 30 cm dans la Grausse de Pamiers et 25 cm à Boussens, atteignent encore facilement 20 cm entre Cazères et Carbonne et à l'aval d'Auterive, plus de 15 cm à Toulouse et plus de 12 cm au confluent de l'Hers mort.

A l'opposé, les nappes culminantes du Donau offrent des épaisseurs plus considérables, souvent supérieures à la dizaine

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) Pour plus de détails sur la morphométrie des alluvions graveleuses garonnaises, on pourra se reporter à l'étude M. BOYER (1951) et aux travaux en cours de L. RIEUCAU.

(2) On laisse ici de côté les plateaux de piémont, que la puissance de leurs remblaiements, la taille de leurs éléments aussi bien que leur proximité de la montagne singularisent à coup sûr.

de mètres (ainsi à Saint-Thomas, Pujaudran, Pelleport, pour la Garonne) et approchent même paffois la vingtaine de mètres, comme l'avait déjà noté E. HARLÉ (1895) (1). Dans les formations garonnaises, L. RIEUCAU (1958 b) a montré la très rapide décroissance, de l'amont vers l'aval, de la taille des galets, dans les 50 premiers kilomètres et surtout dans les 10 premiers kilomètres au sortir des Petites Pyrénées. Non seulement les gros cailloux de plus de 35 cm ne se rencontrent plus guère au-delà de Lescuns, mais, dès le droit de Toulouse, 80 % des galets ont une longueur inférieure à 5 cm; à Pujaudran (profil 46), les éléments les plus volumineux ne dépassent pas 7 cm et vers Cox, à la latitude du confluent Garonne - Hers mort, les tailles supérieures à 5-6 cm sont bien rares (profils 43 et 44).

Les remblaiements du Günz et du Mindel présentent apparemment des propriétés intermédiaires entre celles du Riss et du Würm, d'une part, celles du Donau, d'autre part. Quoique très variable, la puissance des alluvions se tient assez fréquemment entre 4 et 8 m (2). Un peu plus rapide que dans le Riss et le Würm, la décroissance de la taille des galets de l'amont vers l'aval est cependant moins marquée que dans le Donau. Les gros éléments

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Ce qui semble être fréquemment le cas en Lomagne méridionale (profils 43 et 44), si l'on en croit les agriculteurs des environs de Cox et d'Escazeaux.

(2) Et parfois beaucoup plus, comme à proximité de Mondonville, sur la terrasse mindélienne garonnaise, où elle atteindrait une quinzaine de mètres (notice de la carte géologique au 50 000°, feuille Toulouse ouest, 1965, par A. CAVAILLÉ). Il en est de même en haute Boulbonne et à Montaut (Ariège), où l'épaisseur de l'alluvion mindélienne dépasse 12 m (L. GORON, 1941).

de l'ordre de 25-30 cm, qui se montrent encore au droit de Cazères, ne dépassent plus guère 15-18 cm à Rieumes, 10-12 cm à la latitude de Toulouse et 8 - 10 cm à celle du confluent Garonne - Hers mort.

On peut se demander si ces caractères ne reflètent pas, dans une certaine mesure, les modalités du transport et de l'accumulation et, en conséquence, le régime des écoulements anciens. Ainsi, pour ce qui est du Riss et du Würm, l'épaisseur relativement modeste des alluvions, comme la décroissance progressive de la taille des galets, évoquent des écoulements régulièrement alimentés et au débit soutenu, capables d'évacuer au loin une bonne partie de leur charge, en rapport avec l'englacement des hautes vallées et les climats globalement humides et froids qui prévalaient alors.

En revanche, dans les nappes culminantes du Donau, le rapide amenuisement des éléments grossiers vers l'aval suggère des écoulements à compétence s'affaiblissant d'autant plus vite vers l'aval que l'on se trouvait plus loin de la montagne, indice probable de cours d'eau nettement moins bien alimentés et moins régulièrement entretenus que lors des périodes rissienne et würmienne. D'autre part, la puissance des remblaiements semblerait traduire, elle aussi, une certaine indigence des écoulements, impuissants à évacuer au loin une large fraction de leur charge.

Rien n'interdit donc de penser à des climats à tendance semi-aride, à humidité relativement peu importante mais surtout très mal répartie dans l'année, plutôt qu'à des phases climatiques franchement humides et froides, analogues à celles qui ont conduit, au cours du Riss et du Würm, à l'englacement des Pyrénées. De ce

point de vue les remblaiements mindéliens et günziens, dont les caractères sont intermédiaires entre les précédents mais plus proches, à certains égards, de ceux du Donau, pourraient être également attribués à des écoulements plus ou moins discontinus, mais déjà mieux alimentés et tributaires de climats à déficit hydrique moins marqué (1).

Enfin, si l'on accepte notre interprétation selon laquelle les couvertures limoneuses représentent pour l'essentiel, la phase terminale de chacune des périodes de remblaiement alluvial (2), on peut remarquer que les manteaux limoneux antérissiens sont, en règle générale, souvent plus épais et moins riches en graviers ou galets que ceux des niveaux würmiens et rissiens. C'est peut-être, là encore, l'indice que les dernières grandes crues des épisodes de remblaiement prérissiens, impuissantes à remanier galets et graviers précédemment déposés, abandonnaient d'épaisses couches de matériaux fins, dénonçant ainsi la relative indigence des écoulements. Cependant, d'autres données, plus spécifiquement morphologiques, doivent également être prises en compte.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Notons en outre qu'à la latitude de Saverdun, c'est-à-dire à près de 25 km de la cluse ariégeoise de Varilhes, la basse Boulbonne rissienne a livré des blocs de l'ordre du tiers de m3, sans doute transportés par des radeaux de glace (notice de la carte géologique au 50 000°, feuille Saverdun, 1970, par A. CAVAILLE). De tels éléments n'ont jamais été observés, à cette latitude, dans les remblaiements antérissiens.

(2) Cf. Chapitre III, 2. Le cas des épais limons würmiens de la rive droite de la Garonne, à l'aval de Toulouse, sera pris en considération un peu plus loin.

c) Modelé des nappes et largeur des épandages anciens

Référence a déjà été faite au modèle proposé par H. ENJALBERT (1960), selon lequel les "glacis préglaciaires", correspondant pour l'essentiel aux remblaiements antérissiens, doivent être clairement distingués des "terrasses glacio-fluviales" postérieures. Certes, comme on l'a vu (1), les conclusions d'ordre chronologique issues de la seule analyse du modelé nous ont semblé fragiles au regard de celles, beaucoup plus solides à nos yeux, qu'autorisent les faciès d'altération. Il reste que nombre de faits mis en avant par H. ENJALBERT contribuent sans aucun doute à renforcer l'hypothèse de climats rhexistasiques prérissiens à tendance semi-aride.

Ainsi, si l'on excepte la basse Boulbonne et le plateau de Lavilledieu-Montech, qui doivent une large part de leur disposition et de leur modelé aux phénomènes liés à la confluence Ariège-Hers vif et Garonne-Tarn, il est clair que, dans l'avant-pays, les nappes alluviales rissiennes et würmiennes, nettement limitées par le talus des moyennes terrasses, se signalent par leur profil transversal plus proche de l'horizontalité que celui des niveaux antérieurs et, en particulier, celui du Donau de Lomagne. Par ailleurs, si l'on tente de restituer par la pensée l'enveloppe originelle des épandages antérissiens garonnais, beaucoup mieux conservés que ceux de l'Ariège, depuis le bas Comminges jusqu'à la Lomagne, l'élargis-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. Chapitre X. I.

sement vers l'aval du Donau ne fait guère de doute, n'était la coupure de la Save (fig. 7). Les niveaux günziens sont aujourd'hui beaucoup trop dégradés, mais l'évasement vers l'aval du Mindel, de la cluse de Boussens jusqu'au-delà de la Save, quoique bien moins net que celui du Donau, reste encore perceptible. En revanche, la largeur des nappes rissiennes et würmiennes semble plus conjecturale et liée aux zones de confluence Ariège - Hers vif, Garonne - Ariège et Garonne - Tarn (Riss) d'une part, Garonne - Hers mort (Würm), d'autre part : plus à l'aval, d'ailleurs, la vallée postmindélienne de la Garonne se retrécit pour s'ouvrir à nouveau en contrebas du plateau de Lavilledieu - Montech et dans le méandre de Saint-Nicolas-de-la-Grave.

Pentes transversales, surtout nettes pour le Donau, évasement plus ou moins prononcé des épandages prérissiens vers l'aval : ce sont là des traits qui évoquent les écoulements à chenaux instables et à défluviations des climats à tendance semi-aride (1). Ajoutons à cela que la grande largeur des vallées ouvertes dans la molasse par des cours d'eau secondaires comme la Lèze, l'Hers mort ou le Girou, aujourd'hui bien indigents (2), appelle une interprétation analogue et suggère l'intervention d'une efficace érosion aréolaire en roche tendre au cours de périodes rhexista-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Du moins cette hypothèse est-elle recevable pour ce qui a trait à l'avant-pays molassique, à grande distance des fronts glaciaires dont les eaux proglaciaires, on le sait, peuvent fort bien s'épandre et remblayer dans de larges lits à chenaux anastomosés (F. TAILLEFER, 1966).

(2) Sauf lorsqu'ils débordent en fin d'hiver ... ce qui est le cas 1 ou 2 années sur 5.

siques à climats semi-aride (1).

Enfin, si l'expression de "glacis préglaciaires" proposée par H. ENJALBERT peut prêter à confusion, puisqu'il s'agit d'abord, dans presque tous les cas, de véritables terrasses fluviatiles, il n'en demeure pas moins que d'authentiques formes de glacis d'érosion, parfois couverts, se sont développées dans le piémont. A cet égard, on a évoqué ceux qui, sur la bordure montagneuse, peuvent être attribués soit à un Quaternaire moyen, soit à l'équivalent du Donau, inscrit sous les plus hautes croupes du piémont construit (2). De la même façon, le modelé de certains secteurs de l'avant-pays molassique, proches de la bordure pré-pyrénéenne, ne semble pas moins significatif. C'est ainsi qu'à hauteur de Daumazan, une vaste dépression s'ouvre à l'ouest de la vallée de l'Arize (3). Deux minuscules ruisseaux affluents, l'Argain et celui de Montbrun, ont établi leurs étroites terrasses rissiennes et würmiennes, horizontales et remaniant des galets altérés empruntés au proche plateau de piémont de Lahitère, en contrebas de longs versants doucement inclinés (pente d'environ 2 à 3 %) vers le sud-est. Ces derniers appuyés contre les collines molassiques de la Passe et de la Hage, sont taillés eux-aussi dans

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Notons également que, là où il est visible, le plancher molassique des alluvions du Mindel et du Günz offre parfois l'aspect d'une surface d'érosion très tendue, comme dans la forêt de Bouconne, à l'ouest de Toulouse (lac des Quatre chemins), et suggère une certaine planation laminaire agissant au début des phases de remblaiement.

(2) Cf. Chapitre I, 2, A; Chapitre VIII, 4; Chapitre X, 2, D.

(3) On peut consulter avec profit la carte topographique au 50 000° de l'IGN, feuille Mas-d'Azil, au dessin très expressif.

la molasse argilo-caillouteuse burdigalienne et drapés d'un mince manteau de limons graveleux, à profil textural très différencié, et fréquemment remanié : ce pourrait être là l'équivalent de glacis mindéliens. Tout autour de Barailhas s'ébauche ainsi une sorte de cuvette d'évidement sculptée dans la roche tendre (1), incomplètement façonnée, et qui n'est pas sans rappeler les dépressions d'évidement du Massif central méridional et surtout celle, périphérique, de la Montagne Noire, étudiée par H. ENJALBERT (1972). Là encore ces phénomènes de glyptogénèse par érosion hydrique aréolaire plaident en faveur de climats de type semi-aride au cours des phases rhexistasiques antérissiennes (2).

d) Conclusion

L'origine torrentielle des épandages de piémont du type Lannemezan, sous climats nettement semi-arides, n'est plus guère remise en question de nos jours. Dans cette perspective, et compte tenu des données précédentes, les conditions climatiques du Donau et, dans une moindre mesure, du Günz et du Mindel, n'auraient donc fait que perpétuer d'une certaine façon celles qui prévalaient dès le Pliocène terminal. Toutefois, comme on le verra plus loin,

---

(1) Roche tendre quoiqu'armée, dans ce secteur, de cailloutis divers, ce qui explique peut-être pour une part sa plus grande perméabilité et sa meilleure résistance à l'érosion postmindélienne que dans d'autres terroirs molassiques.

(2) Le rôle du vent semble avoir été très secondaire : pas plus à l'ouest de l'Arize que dans la plaine de Revel-Castelnaudary, les quelques lots de sables quartzeux étudiés en exoscopie n'ont livré plus de 4 % à 5 % de grains éolisés.

les phases de morphogénèse quaternaire antérissiennes, Donau y compris, n'ont sans doute pas connu des climats aussi sévères que ceux de la fin du Tertiaire. D'autre part, il semble clair que, d'une phase à l'autre, les conditions climatiques ne se sont pas reproduites identiques à elles-mêmes : si l'on peut admettre que Günz et Mindel représentent des épisodes assez voisins, tous deux à caractère semi-aride déjà atténué, les épandages du Donau dénotent certainement des écoulements plus discontinus et des climats plus nettement marqués par la sécheresse (1).

Enfin, on ne peut négliger le fait que, dans l'ensemble de l'Europe tempérée, un certain nombre de gisements quaternaires antérieurs au Riss ont livré soit des pollens (H. ELHAI et al., 1963; H. ELHAI, 1969), soit des restes d'animaux qui comme le Renne, le Rhinocéros laineux et l'Elephas trogontherii (J. CHALINE, 1972; C. POMEROL, 1973) (2) évoquent un environnement plutôt froid. De la même façon, les migrations répétées des Rongeurs en Europe tout au long du Quaternaire semblent avoir été déterminées, pour une large part, par les variations thermiques du climat (J. CHALINE 1970).

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) La rareté, sinon l'absence d'indices d'éolisations antérissiennes caractérisées, signifie peut-être que depuis le Donau jusqu'au Mindel, ces climats à tendance semi-aride autorisaient néanmoins un minimum de couverture végétale du sol, à moins qu'au cours de ces épisodes, le régime et la force des vents aient été radicalement différents de ceux du Quaternaire récent et peu favorables aux phénomènes d'éolisation.

(2) On peut également se reporter aux "Etudes sur le Quaternaire dans le monde", 8è Congrès INQUA, Paris, 1969.

En dépit de l'absence de preuves locales et directes (1), rien n'interdit donc de penser que les épisodes rhexistasiques du Donau, du Günz et du Mindel ont connu des climats déjà rigoureux du simple point de vue thermique. Mais il est fort douteux que ces conditions aient eu pour conséquence un englacement prononcé des Pyrénées. Non seulement, la péjoration thermique n'a pas dû outrepasser un certain seuil, comme semble en témoigner le maintien des espèces "chaudes" jusqu'au Mindel-Riss. Mais, surtout, le défitit hydrique interdisait probablement le développement généralisé de puissantes réserves de glaces dans les Pyrénées. Certes, on peut parfaitement admettre qu'au cours du Donau et, plus encore, du Günz et du Mindel, les précipitations orographiques dont bénéficiait la haute chaîne aient pu déterminer la formation de glaciers de cirques bien exposés, assortis vers l'aval de courtes langues glaciaires (2). Mais, pour autant que ces "mini-glaciations" prérissiennes se soient effectivement produites, elles n'ont sans doute joué qu'un rôle très secondaire dans l'élaboration du modelé de piémont : à nos yeux, et pour toutes les raisons invoquées plus haut, c'est la note semi-aride de l'environnement qui a dû préva-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On ne peut en effet considérer comme telles les rarissimes pollens de Pin et de Sapin trouvés par H. ALIMEN et J. SAUVAGE (1964) dans le Mindel du Gave de Pau, à Livron, non plus que le spectre pollinique plus fourni, livré par le Mindel de l'Adour, à proximité de Dax, où le Pin semble dominer largement (H. ALIMEN, 1965).

(2) On rejoindrait par là, d'une certaine façon, les vues de H. ENJALBERT (1960), pour lequel les nappes mindéliennes (équivalentes des "glacis inférieurs") pourraient tirer leur origine, dans une faible mesure, des eaux proglaciaires ou de fonte issues des secteurs éventuellement englacés à cette époque.

loir au cours des épisodes rhexistasiques antérissiens. En revanche, et n'était une ou plusieurs brèves pulsations sèches, comme celle de la fin du Würm, c'est bien aux froids humides très rigoureux qui régnaient dans les Pyrénées pendant le Riss et le Würm, et au régime "ombro-glaciaire" des cours d'eau, que les remblaiements récents du piémont doivent leur existence.

3 - DU RISS AU POSTWÜRM: UN QUATERNAIRE RECENT TRES BREF

Récents, les épisodes postérieurs à la fin du Mindel-Riss le sont assurément, si l'on considère que, pour une durée globale du Quaternaire de l'ordre de 2 millions d'années au moins, rares sont les estimations qui tendent à faire remonter le début du Riss au-delà de 150 000 ans B. P. (J. CHALINE, 1972) (1). Riss et Riss-Würm, puis Würm et Postglaciaire se sont donc succédé rapidement dans le temps. On peut tenter sinon d'en retracer le déroulement, tout au moins de signaler les principales étapes qui ont marqué l'évolution morphologique et pédologique du piémont garonnais et ariégeois.

A - La période rissienne

Aucune donnée d'ordre pédologique ne permet de distinguer plusieurs stades rissiens. Par contre, la morphologie et la

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Le regroupement du Riss, du Riss-Würm et du Würm dans un Quaternaire "récent" semble d'ailleurs fréquemment opéré (E. BONIFAY, 1969; M. F. BONIFAY, 1969).

situation des dépôts glaciaires sont bien plus probantes. Au sous-stade d'expansion maximale (1), au climat très froid et très humide en montagne, correspondent sans aucun doute les placages morainiques en position culminante autour du bassin de Barbazan et entre Foix et Tarascon, ainsi que les blocs abandonnés au Pas de Labarre (Ariège). Suite probablement à certaine diminution de l'humidité, les langues glaciaires régressent quelque peu et, notamment, évacuent en partie les vallées latérales envahies lors de la progression maximale : au sous-stade de stationnement, la glace ariégeoise obture ainsi les vallées de l'Arget et de Saurat, déterminant des lacs de barrage à argiles varvées (F. TAILLEFER et al., 1959; F. TAILLEFER, 1960).

C'est sans doute pendant ou très peu de temps après cet épisode que s'édifie la nappe ariégeoise de Foix-Cadirac : ce plateau ondulé à matériel grossier de type fluvio-glaciaire mais comportant apparemment quelques véritables placages morainiques (butte de la cote 458, figure 4), représente certainement un dépôt de marge glaciaire (2). Les remblaiements résiduels de la terrasse de Seilhan-Fourcade et de Bentouy, sur la Garonne, n'ont peut-être pas d'autre origine.

Dans l'avant-pays molassique comme dans les basses vallées montagnardes, aucun loess rissien, aucune phase d'éolisa-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On utilise ici la terminologie proposée par P. BARRERE (1969) et F. TAILLEFER (1969 a).

(2) Hypothèse également formulée par F. TAILLEFER (1973).

tion n'a pu être mis en évidence. Toutefois, les éboulis lités et cimentés qui drapent le versant sud du Roc de Sedour sont peut-être l'indice d'un épisode froid et sec, antérieur à l'expansion maximale de la glace : apportés par cette dernière, des cailloutis cristallins parsèment en effet le sommet de la brèche (F. TAILLEFER, 1953, 1969 c) (1). Le début du Riss pourrait donc avoir été franchement sec : de fait, dans certains remplissages de grottes ou d'abris-sous-roche de Dordogne, les spectres polliniques semblent évoquer un paysage à faible taux de boisement, qui correspondrait à un Riss I froid et sec (H. LAVILLE, 1969), dont il n'existe cependant aucun équivalent sédimentologique dans l'avant-pays.

Quoi qu'il en soit, le Riss représente avant tout une importante période de remblaiement alluvial fluvio-glaciaire. Peu de témoins en subsistent aujourd'hui dans les basses vallées montagnardes. Dans la Plaine de Rivière, les nappes rissiennes ont été en grande partie déblayées ultérieurement, comme elles l'ont été du reste plus à l'aval, jusqu'à Saint-Martory-Boussens (2). Seuls demeurent quelques lambeaux témoins, isolés comme à la Gare de Saint-Gaudens ou à Le Bedat (Neste), ou bien groupés et appuyés contre les collines calcaires crétacées qui limitent au sud la Plaine de Rivière : dans ce cas précis, leur situation à l'intérieur des "rentrants" de la bordure crétacée explique sans doute qu'ils aient été épargnés lors de la fonte brutale des glaces rissiennes ou

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On peut toutefois se demander si la formation de cette brèche puissante, nettement karstifiée et truffée de grottes et abris-sous-roche (F. TAILLEFER, 1969 c), ne remonte pas à une période relativement froide et semi-aride antérieure au Riss.
(2) On ne peut cependant exclure que, dans la profondeur du puissant remblaiement de la Plaine de Rivière, subsiste une part plus ou moins importante de matériaux rissiens.

lors des grands épandages würmiens (1). Dans les vallées secondaires, quelques secteurs de terrasses rissiennes ont également été conservés : ainsi le long du Salat, comme à Saint-Girons-Antichan, et au-dessus de Soueich (Ger-Job), probablement en raison d'un changement de cours postrissien du Ger (2). Par contre, c'est dans l'avant-pays molassique, à l'aval des cluses et hors de portée des eaux de fonte glaciaire et des énergiques alluvionnements de la phase de progression würmienne, que les remblaiements rissiens offrent aujourd'hui le plus d'ampleur. Garonne, Ariège, et Tarn, Arize et Volp, notamment, y ont construit leurs basses terrasses, basse Boulbonne et plateau de Lavilledieu-Montech.

Le climat rissien, globalement très froid et humide dans les Pyrénées mais sans doute déjà moins rigoureux dans les basses vallées montagnardes et l'avant-pays, a-t-il influencé, d'une manière ou d'une autre, l'évolution pédologique des niveaux antérissiens ? Rien ne permet d'en avoir confirmation. Au contraire, tout porte à croire qu'à la fin de la longue période Mindel-Riss, le degré d'évolution des profils (et, en particulier, des limons de couverture) était tel que le climat froid et humide du Pléniglaciaire

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) On pourra consulter à ce propos la carte morphologique détaillée de Montréjeau - sud-est au 50 000°, CNRS, 1970.

(2) Coulant auparavant sud-nord depuis Soueich, le Ger s'est ensuite orienté vers le nord-nord-ouest, se déversant alors dans le Job (cf. carte topographique IGN au 50 000°, feuille Saint-Gaudens).

n'a dû apporter que des retouches négligeables. En revanche, il est probable que, dans ces conditions peu favorables à la stabilité des versants (1), le Terrefort molassique et, tout particulièrement, le Terrefort lauragais ont connu un rapide bouleversement de leur modelé : abaissement et amenuisement des croupes et des replats, transit et évacuation des matériaux ainsi prélevés le long des versants puis dans les vallons du Terrefort ... De la même façon, on peut assigner à cette période une part sans doute notable des solifluxions et coulées boueuses qui empâtent talus de terrasses prérissiennes ou versants longs de certaines rivières secondaires comme le Volp, la Lèze ou les cours d'eau de l'éventail gascon; mais c'est là une simple présomption puisque, dans la plupart des cas, il est rigoureusement impossible, sauf exception, de démêler ce qui, dans ces formations limoneuses de pente, revient à tel ou tel épisode morphoclimatique.

Enfin, aucun indice sérieux ne permet de savoir ce que représente la durée effective de la période rissienne. Si l'on admet que les premiers froids rissiens remontent à ± 150 000 ans B. P. et que la durée du Würm est de l'ordre de 50 à 70 000 ans, il est vraisemblable que le Riss s'est achevé il y a environ 100 000 ans, alors que s'esquissaient les conditions plus douces de l'interglaciaire Riss-Würm.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Notamment lors des épisodes les plus froids, au cours desquels la couverture végétale des versants demeurait limitée .

B - L'interglaciaire Riss-Würm

Chronologiquement, cette période correspond selon toute probabilité au premier interstade défini par P. BARRERE (1963, 1969) et F. TAILLEFER (1969 a). Mais, plus qu'un simple stade mineur de retrait (1), il s'agit sans doute d'un véritable épisode interglaciaire, suffisamment long et au climat tempéré, marqué par une importante déglaciation des vallées montagnardes (2).

Phase biostasique au climat doux et humide, l'interglaciaire Riss-Würm correspond avant tout à une période de pédogénèse et d'altération. Dans les remblaiements rissiens (3), les limons évoluent vers les sols bruns lessivés puis lessivés et lessivés hydromorphes : rapide dans l'avant-pays molassique, cette évolution est plus lente dans la province pétrographique crétacée des basses vallées montagnardes, en raison de l'inertie pédologique de départ des roches-mères. Horizons II B et II BC à II CB s'esquissent puis se renforcent au-dessus des fronts d'altération dans les nappes graveleuses. Cependant, arénisation et libération du fer se développent plus ou moins vite et irrégulièrement, selon la provenance des ma-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Comme le suggère l'expression même d'"interstade".

(2) L'ampleur de cette déglaciation nous est totalement inconnue : en particulier, il est impossible de savoir si, comme aujourd'hui, toutes les vallées pyrénéennes étaient libres de glace, puisque l'avancée des langues würmiennes a entièrement remodelé de larges secteurs des vallées montagnardes.

(3) Et sans doute sur les replats du Terrefort façonnés au Riss.

tériaux cristallins : modérée dans l'avant-pays, l'évolution est bien plus rapide sur la bordure pyrénéenne. Ces mêmes processus affectent, avec des modalités diverses, les dépôts morainiques abandonnés au cours du Pléniglaciaire. Sur les niveaux prérissiens, les matériaux, déjà profondément pédogénisés, depuis la fin du Mindel-Riss au moins, ne subissent qu'un quantum d'altération relativement modeste.

Issus de bassins versants globalement stables car bien protégés par une couverture vivante efficace, les cours d'eau peu chargés abaissent leur profil au gré des conditions locales et entaillent leurs remblaiements rissiens, réduisant parfois ces derniers à de simples lambeaux. Si l'on considère que, d'une part, le début du Postglaciaire remonte à environ 10 000 ans B.P. et que. d'autre part, l'altération et la pédogénèse des dépôts rissiens diffèrent déjà assez clairement de celles des formations würmiennes, on peut admettre que la durée de l'interglaciaire Riss-Wûrm n'a pas dû être inférieure à une ou, mieux, plusieurs dizaines de milliers d'années (1), avant que se manifestent les premiers froids würmiens.

C - La phase würmienne

a) Deux principaux stades würmiens

De façon bien plus nette que pour le Riss, deux grandes étapes peuvent être distinguées dans le déroulement du Würm (2) :

---

(1) La durée du Riss-Würm est estimée à 40 000 ans par certains auteurs (notamment, H. de LUMLEY-WOODYEAR, 1971) sans qu'on puisse par ailleurs vérifier le bien-fondé de cette hypothèse.
(2) On verra un peu plus loin que ces deux étapes coïncident assez bien avec les sous-stades glaciaires würmiens.

- Le Würm I, à climat globalement froid et humide, au cours duquel ont dû se mettre en place une bonne part des remblaiements alluviaux;

- Le Würm II, plus sec et sans doute sensiblement plus bref que le Würm I, et dont le début remonte probablement à 25 000 - 30 000 ans B.P., si l'on accorde quelque crédit aux données radiochronologiques établies à partir des Gastéropodes fossiles de la base des loess toulousains (1). Il pourrait alors être parallélisé avec le "Würm III", globalement sec et froid, des préhistoriens (H. de LUMLEY-WOODYEAR, 1969, 1971, 1972)(4).

Comme on le voit, cette stratigraphie du Würm reste bien modeste, comparée à la demi-douzaine de stades et d'interstades couramment révélés par l'étude des remplissages de grottes et d'abris-sous-roche du Sud-ouest (H. LAVILLE, 1969) (2). On peut, à vrai dire, se demander dans quelle mesure les données fournies par ces colmatages traduisent effectivement, et dans tous les cas, une séquence bioclimatique de portée régionale ou si, au contraire, elles ne témoignent pas souvent de conditions strictement localisées, dont la généralisation demeure hasardeuse (3). Quoi

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. Chapitre X, 1, B, b.

(2) On notera en particulier qu'aucun interstade tempéré Würm I - Würm II ne peut être nulle part mis en évidence dans le piémont garonnais et ariégeois.

(3) On songe notamment aux divers faciès sédimentologiques de grottes (éboulis, emballages d'argile, altérations - dans l'acception parfois très originale des préhistoriens - ...) dont l'interprétation stratigraphique et paléoclimatique est toujours fort périlleuse et bien souvent de portée très limitée.

(4) Les préhistoriens distinguent 4 grands stades würmiens : Würm I, très humide et froid (75 000 - 60 000 B.P.); Würm II, humide et très froid (55 000-35 000 B.P.); Würm III, très froid et souvent sec (30 000-17 000 B.P.); Würm IV, moins froid et modérément humide (15 000-10 000 B.P.). Notre Würm I correspond donc aux 2 premiers stades ci-dessus et notre Würm II aux deux derniers.

qu'il en soit, parmi les nombreuses pulsations climatiques qui ont dû se manifester tout au long du Wurm, force nous était de ne tenir compte ici que des épisodes majeurs, ceux dont les caractères se sont clairement imprimés dans le modelé et la pédogénèse. Au reste, la simple distinction que nous établissons entre un Würm inférieur humide et un Würm supérieur plus sec, ne semble pas contradictoire avec les données paléobotaniques les plus récentes. Ainsi, dans le Midi méditerranéen, et notamment dans le proche Languedoc, l'étude des macroflores suggère la succession de deux grandes phases würmiennes : la première, humide et à tendance forestière; la seconde, plus sèche, à caractère steppique ou de forêt claire plus ou moins marqué (J. L. VERNET, 1972).

b) La morphogénèse du Würm I

Selon toutes apparences, le Würm représente l'équivalent du stade de disjonction glaciaire de P. BARRERE (1963, 1969) et F. TAILLEFER (1969 a), au cours duquel les glaciers principaux ont de nouveau envahi les basses vallées montagnardes, jusqu'au niveau de Seilhan, pour la Garonne, de Garrabet, pour l'Ariège. Comme pour le Riss, un sous-stade d'expansion a précédé un sous-stade de stationnement. Probablement ce dernier, qui postule un climat encore froid mais déjà plus sec, correspond-il dans une large mesure au Würm II défini plus haut. Or, on a vu que, dans l'avant-pays molassique, les formations corrélatives les plus typiques du Wurm II (loess et formations éolisées) ont manifestement été déposées ou remaniées alors que la majeure partie du remblaiement des basses plaines était déjà en place (1). C'est, sem-

(1) Cf. Chapitre III, 2, A, d.

ble-t-il, la preuve que l'édification des nappes fluvio-glaciaires ne résulte pas, comme on l'a souvent imaginé (M. BOULE, 1895; L. GORON, 1941), de la fusion généralisée des glaces, mais qu'elle est pour l'essentiel contemporaine de la phase de progression glaciaire.

C'est sans doute au cours du Würm I que s'est mise en place une nouvelle génération de dépôts glissés sur les pentes et accumulés dans les fonds de vallons, sans qu'on puisse là encore les différencier formellement des formations antérieurement déposées. C'est également à cette période que l'on peut attribuer le dernier façonnement important des croupes et replats culminants du Terrefort molassique : toutefois, comme on le verra plus loin, ces derniers seront partiellement détruits et remaniés au début du Postglaciaire. Sur la bordure pyrénéenne, le matelassage des versants calcaires par des grèzes et éboulis lités (F. TAILLEFER, 1953), dont l'inégale cimentation traduit peut-être la sécheresse relative du Würm II, s'est vraisemblablement poursuivi jusqu'à la fin du Würm.

Le climat froid et humide du Würm I a-t-il véritablement modifié l'évolution pédologique des formations préwürmiennes et, en particulier, celle des couvertures limoneuses rissiennes ? On a examiné cette question antérieurement (1) : ajoutons simplement que, dans la perspective d'un interglaciaire Riss-Würm tempéré humide de l'ordre de 20 à 30 000 ans, il est fort probable que, dès

- - - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. Chapitre XI, 1, B.

le début du Wurm, les profils limoneux rissiens et, a fortiori, prérissiens offraient déjà un net degré de différenciation, ressortissant par exemple aux sols lessivés hydromorphes. Cela rend d'autant plus aléatoire toute estimation relative à l'impact pédologique du climat du Würm I. Toutefois, il n'est pas exclu que la fissuration et la fragilisation généralisées des galets cristallins dans les graves rissiennes aient pu se trouver accélérées par les gels et les contrastes thermiques würmiens.

c) La localisation des actions éoliennes au Würm II et ses implications

L'épisode sec du Würm II est attesté, rappelons-le, par les placages loessiques et les éolisations des basses plaines, ainsi que par certains faciès de ségrégation calcaire, développés au cours de cette période dans les matériaux carbonatés. Concernant le paysage végétal du Würm II et les conditions bioclimatiques qu'il implique, on peut se demander si la localisation très stricte des accumulations de poussières éoliennes et l'absence de toute éolisation marquée à la surface des terrasses antéwürmiennes, ne constituent pas des indices significatifs. Probablement signalent-elles en effet que, pendant le Würm II, les remblaiements antéwürmiens étaient relativement bien fixés par la végétation. Plus qu'à une steppe très lâche, piquetée de rares Conifères et laissant le sol largement découvert, c'est à une sorte de forêt claire à sous-bois herbacé suffisamment fourni, ou à une prairie-parc, que devait ressembler le paysage végétal du Würm II, dans l'avant-pays molassi-

que (1). Seuls, certains secteurs particulièrement exposés et dépourvus d'une couverture végétale efficace s'offraient sans défense à l'action du vent : pentes raides des talus de terrasses, là où, notamment, affleurait la molasse; versants courts et ravinés du Terrefort, avec leurs minces rendzines et régosols calcaires; basses plaines limoneuses würmiennes, de la Garonne à l'aval de Toulouse et de l'Hers mort en particulier, dont la construction s'achevait alors, sans doute encore instables et fort peu colonisées par la végétation sur de larges espaces ... (2). C'est là l'illustration

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Probablement le taux de boisement était-il moins important dans les vallées montagnardes, à proximité des fronts glaciaires : ainsi, près de Lourdes, les pourcentages d'herbacées se tiennent autour de 90 % dans les diagrammes polliniques de Poueyferré, au sein de matériaux tourbeux remontant à 15 000 - 18 000 ans B.P. (H. ALIMEN et al., 1965; M. VAN CAMPO, 1969).

(2) De Toulouse à Castelsarrasin, le haut palier würmien portant Saint-Alban, Grisolles et, sous le plateau de Lavilledieu, la partie basse de Montech et Escatalens, semble avoir été particulièrement (mais non exclusivement) éolisé au Würm II (figure 14). Il n'est pas facile d'expliquer cet état de fait. Peut-être l'Hers mort qui, dès la fin du Würm I, avait sans doute déjà abandonné le seuil de Toulouse, continuait-il à alluvionner et à remanier quelque peu ce palier entre Toulouse et son confluent avec la Garonne, celle-ci se trouvant désormais inscrite quelques mètres en contrebas ? Peut-être la nature même des épais limons, riches en sables fins et très fins, (figure 13), qui drapent ce palier, en faisait-elle des matériaux particulièrement sensibles au vent ? Toujours est-il que l'hypothèse d'un "couloir d'aridité relative" suivant l'Hers mort et la Garonne toulousaine, hypothèse que nous avions formulée dans une publication récente (J. HUBSCHMAN et al., 1972), nous semble aujourd'hui très insuffisante.

d'une situation plus ou moins hétérostasique, liée à la stabilité différentielle des facettes écologiques qui composent le paysage. En tout cas, ces traits suggèrent un climat périglaciaire fort atténué où ni le froid ni la sécheresse ne revêtaient un caractère intense. De la même façon, il n'existe aucune trace d'un Tardiglaciaire fini-würmien très froid, comparable à celui des palynologues (G. JALUT, 1969), dans le piémont garonnais et ariégeois (1) : aucun épisode morphoclimatique original n'est venu s'interposer ici entre la phase sèche et froide du Würm II et le redoux postglaciaire.

D - Le Postglaciaire

La plupart des nombreuses mesures radiochronologiques aujourd'hui disponibles en Europe tempérée permettent d'estimer le début du réchauffement postglaciaire à environ 10 000 ans B.P (N. PLANCHAIS, 1969; J. CHALINE, 1972). Malgré ce caractère récent et faute d'études paléobotaniques précises dans la région, il n'est pas question de distinguer ici les 5 phases classiques du Postwürm, mises en évidence par les palynologues. A tout le moins, cependant, peut-on noter quelques indices morphologiques liés au réchauffement et au regain d'humidité postglaciaire.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Il est vrai que ce Tardiglaciaire ne semble s'être manifesté qu'en montagne ou dans des régions plus continentales; d'autre part, l'évolution de la végétation, qui pourrait traduire certaines pulsations climatiques de la fin du Würm, nous est pratiquement inconnue dans le piémont garonnais et ariégeois.

- Dans les coteaux molassiques du Terrefort se met en place, à cette époque, la majeure partie des dépôts glissés sur les versants ("argiles de coulière") : localement, ils recouvrent et ravinent des loess frais tapis au creux des vallons (1). Ils proviennent, dans une large mesure, du démantèlement partiel des replats dominants façonnés au Würm I, dont certains, on l'a vu (2), comportent des horizons à faciès de concentration calcaire. Le Terrefort acquiert ainsi, à peu de choses près, son visage d'aujourd'hui. De même, quelques remaniements et solifluxions affectent, çà et là, versants des vallons taillés dans les remblaiements alluviaux et talus de terrasses : ainsi à Colomiers et près de Merville (Garonne); à Ramonville-Saint-Agne, Auzeville, Pompertuzat et Donneville (Hers mort), où des matériaux glissés, soit alluviaux, soit molassiques, fossilisent les placages loessiques.

C'est très probablement au début du Postglaciaire (phases préboréale et boréale), que la plupart de ces phénomènes ont dû se produire, avant l'expansion généralisée de la chênaie (phase atlantique) et le développement d'une dense couverture forestière. Une légère reprise d'érosion, liée aux défrichements médiévaux et subactuels, se marque dans quelques dépôts superficiels du Terrefort (limons à débris de poteries du versant gauche de la vallée de l'Hers mort) (3).

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cf. chapitre III, 2, A, d et figure 16.
(2) Cf. chapitre VI, 2.
(3) Notons également qu'à l'heure actuelle, et surtout depuis la constitution de vastes unités de culture sur les pentes du Terrefort, l'action du ruissellement n'est pas négligeable sur les terres de labours. Ainsi, après une série d'averses brutales, comme celle du printemps 1972, les pieds de maïs peuvent parfois se trouver déchaussés vers le haut des versants et, à l'inverse, disparaître
(voir suite page suivante)

- L'évolution pédologique des nappes würmiennes et des replats molassiques résiduels façonnés au Würm, s'est sans doute véritablement ébauchée et activement poursuivie depuis le début du Postglaciaire comme elle le fait aujourd'hui encore. En 10 000 ans environ, sous le climat globalement doux et relativement humide de la région, des sols bruns lessivés et, plus rarement, des sols lessivés ont pris naissance dans les matériaux meubles d'origine molassique : couvertures limoneuses des basses plaines würmiennes de l'avant-pays, replats du Terrefort, placages loessiques en situation favorable à la pédogénèse et non enfouis sous des colluvionnements postérieurs. Dans les alluvions graveleuses würmiennes, des horizons II Bt et II BC ont dû commencer à s'esquisser peu à peu. On peut penser que, dans le même temps, la pédogénèse des nappes rissiennes, quoique déjà bien avancée, s'est quelque peu accentuée; en revanche, limons et cailloutis antérissiens, très évolués depuis bien longtemps, n'ont dû bénéficier que d'un quantum d'altération négligeable.

- Certainement amorcée dès la fin du Würm avec la fonte généralisée des glaces pyrénéennes, l'incision des terrasses würmiennes n'a pas revêtu partout la même ampleur. Dans les bassins sous-pyrénéens et jusqu'à une certaine distance des cluses, Garonne et Ariège coulent dans un chenal qui s'inscrit profondément au-dessous des niveaux würmiens. Plus à l'aval,

- - - - - - - - - - - - - - -

(3 suite de la page précédente)
sous quelques centimètres de terre fine en contrebas. Même sous les climats aujourd'hui biostasiques de notre région, le cloisonnement traditionnel de l'espace par haies et chemins, prés et bosquets, est loin d'être totalement dépourvu d'intérêt à cet égard.

en revanche, et tout particulièrement au-delà de Toulouse, l'entaille récente demeure modeste. En même temps, cependant, l'action des cours d'eau s'est manifestée par des remblaiements qui sont loin d'être négligeables. Dans la partie amont des cours, de petites plaines modernes, parfois emboîtées les unes dans les autres, ont pris naissance de place en place au-dessus des lits majeurs proprement dits : ainsi entre Boussens et Noé, entre Varilhes et Saverdun. A l'aval de Toulouse, la Garonne, rongeant sa terrasse würmienne, a construit par endroit des niveaux modernes qui sont souvent en continuité topographique avec la précédente.

Toutes ces formations récentes portent des sols peu évolués : sols bruts d'apport alluvial, plus ou moins brunifiés et parfois hydromorphes. On peut toutefois distinguer d'une part, des secteurs à sols réellement bruts, assez souvent calcaires, ("plages" et lits majeurs sensu stricto), d'apport tout à fait récent ou actuel; d'autre part, des zones à sols peu évolués mais non ou peu calcaires et à structure plus "pédologique" (anciens méandres comblés, ramiers, petites terrasses dominant le lit majeur s. s.), dont la mise en place remonte déjà à un ou plusieurs millénaires, si l'on en juge par l'évolution des sols dans le petit méandre comblé de Raboudi-Sept-Deniers (aval de Toulouse), dont l'âge gallo-romain est attesté par le marbre statuaire de Carrare qu'ont livré les cailloutis postglaciaires.

x x

x

Du début du Riss jusqu'à nos jours, c'est environ 100 à 150 000 ans qui ont dû s'écouler. Quoique fort brève par rapport à l'ensemble des temps quaternaires, cette période a comporté des épisodes morphoclimatiques de première importance. Il reste que, malgré l'événement considérable que représente l'irruption des glaces, à deux reprises, dans les basses vallées pyrénéennes, les grands traits du modelé de piémont étaient déjà fixés dès la fin du Mindel-Riss. Déjà, sous les plateaux de piémont et en contrebas des croupes molassiques, les vallées étaient profondément creusées et déjà, le long des grands cours d'eau, 3 générations principales de remblaiement témoignaient de l'évolution morphoclimatique et pédologique antérissienne.

4 - LES GRANDS TRAITS DE L'EVOLUTION MORPHOCLIMATIQUE AU COURS DES TEMPS PRERISSIENS

En raison de l'absence d'indices paléontologiques sûrs et de mesures radiochronologiques antérieures au Würm II, la reconstitution de l'évolution du piémont depuis le début du Riss reste encore bien incertaine et fort approximative. Que dire alors des périodes antérissiennes, sinon que leur ancienneté, le nombre des quanta d'altération cumulés avec le temps et la rareté des témoignages, sont tels, qu'il faut bien se résoudre à une grossière approche des phénomènes. A fortiori, l'histoire du piémont au cours du Mio-pliocène, dont certains aspects doivent nécessairement être pris en compte, nous est-elle encore plus mal connue. Aussi, avant d'aborder le problème de la limite Tertiaire-Quaternaire dans le piémont nord-pyrénéen, on évoquera d'abord les principales étapes de l'évolution morphoclimatique depuis le début du Donau.

A - Les étapes de l'évolution postdanubienne

Il ne peut évidemment s'agir ici que d'une représentation très schématique, dont le seul intérêt est de regrouper, en un bref tableau, des données déjà établies dans les pages précédentes. L'essentiel tient à ce que, de l'aube du Donau à la fin du Mindel-Riss, trois couples majeurs se sont succédé :

- Il y a 1,5 à 2 millions d'années au moins, débute le Donau, phase rhexistasique d'érosion et de remblaiement, à climat semi-aride peut-être frais sinon froid, surtout en altitude. Probablement déjà quelque peu entaillés dès cette époque (1), les cônes pliocènes de piémont se voient localement remaniés sous forme d'épandages grossiers tapissant des chenaux évasés (comme sur le plateau de Lannemezan), ou de glacis ou couloirs d'érosion irrégulièrement couverts (comme entre Ariège et Garonne), inscrits sous les croupes culminantes. Dans l'avant-pays, des sortes de gouttières ouvertes dans la molasse guident les premières venues alluviales qui, pour la Garonne, s'étirent depuis les Pyrénées jusqu'à l'Atlantique. A ce Donau succède le Donau-Günz, très longue période biostasique (au moins 500 - 600 000 ans, peut-être même beaucoup plus) marquée par l'évolution des dépôts précédents et le creusement des cours d'eau, sous climat de type tempéré humide.

- - - - - - - - - - - - - - -

(1) On évoquera rapidement ce point un peu plus bas.

- Premier épisode rhexistasique postdanubien, le Günz, à climat vraisemblablement semi-aride atténué et peut-être modérément froid, n'a laissé de traces marquantes que dans les nappes alluviales étalées dans l'avant-pays; celles de la bordure pyrénéenne se réduisent en effet à quelques rares lambeaux très démantelés (comme au-dessus de Villeneuve-de-Rivière, pour la Garonne), sans doute contemporains de quelques glacis d'érosion dégradés, dont l'attribution chronologique précise est toutefois impossible à établir. Le Günz-Mindel, qui lui fait suite, correspond à une phase biostasique tempérée mais beaucoup plus brève que le Donau-Günz, de l'ordre de 200 000 ans.

- De l'épisode d'érosion et de remblaiement du Mindel, lui aussi à climat semi-aride atténué et sans doute à froid modéré, ne subsistent, à l'amont des cluses prépyrénéennes, que quelques éléments de nappes alluviales, notamment le long de la Garonne, et vraisemblablement certains glacis d'érosion en roche tendre; dans l'avant-pays molassique, en revanche, les remblaiements sont beaucoup mieux conservés. La longue période biostasique tempérée du Mindel-Riss, qui a dû se prolonger pendant 500 à 600 000 ans, a vu les cours d'eau abaisser notablement leur lit, tandis que s'esquissait l'altération des alluvions mindéliennes et que se renforçait celle des formations plus anciennes.

Cette façon de voir (qu'on a tenté de schématiser sur la figure 47), ne constitue, rappelons-le, qu'une approche très sommaire de l'évolution antérissienne du piémont. A tout le moins est-on cependant assuré que, après la phase des cônes de piémont et avant le premier englacement généralisé des Pyrénées, c'est

bien trois épisodes majeurs de remblaiement, et trois seulement, qui se sont succédé . Reste encore pourtant à rattacher cette évolution du piémont depuis le Donau à celle qui, plus ancienne, s'est traduite en particulier par les grands épandages du type Lannemezan. On aborde ici le délicat problème de la limite Tertiaire - Quaternaire dans le piémont nord-pyrénéen.

B - Pliocène ou Villafranchien inférieur ? Le problème de la limite Pliocène-Pléistocène dans le piémont garonnais et ariégeois

Depuis M. BOULE (1895), la mise en place des plateaux caillouteux qui, comme le Lannemezan, jalonnent le versant nord des Pyrénées, a été rapportée au Pliocène par la plupart des auteurs (L. GORON, 1941; G. DENIZOT, 1944; F. TAILLEFER, 1951 a; F. CROUZEL, 1957; H. ENJALBERT, 1960, H. ALIMEN, 1964). Commode, cette attribution reste cependant problématique, en raison notamment de l'absence totale de données paléontologiques post-pontiennes ainsi que de caractères sédimentologiques passablement embrouillés.

De fait, dans le Lannemezan, J. PATIN (1966, 1967) et M. ICOLE (1969 a, 1973) ont bien mis en évidence le passage généralement progressif entre les argiles à galets imputées au Pontien et les épandages postérieurs, d'allure plus désordonnée et relativement hétérométriques. Si, comme l'a montré F. TAILLEFER (1951 a), les alluvions de piémont entre Ariège et Garonne reposent en maints endroits sur des planchers de diverse nature (molasse miocène, flysch cénomanien, calcaires crétacés ...), sous les plateaux de Lannemezan de Ger et d'Orignac, elles recouvrent en

effet des formations attribuées au Pontien : argiles à galets et, surtout, couches organiques comme les lignites d'Orignac, que leur contenu faunistique a permis de rattacher précisément à l'étage pontien (G. ASTRE, 1932; M. RICHARD, 1946; F. CROUZEL, 1957).

Se pose ainsi la question essentielle : la Formation de Lannemezan termine-t-elle la sédimentation pontienne ou, à l'inverse, représente-t-elle déjà un Villafranchien inférieur, première manifestation du Quaternaire [1] ? A cet égard, on sait que M. ICOLE (1973) voit dans l'essentiel de ces épandages ("Formation supérieure" de Lannemezan) des dépôts quaternaires, homologues du Donau : seules quelques rares croupes (2) seraient effectivement à rapporter au Pliocène. En fait, si l'existence de larges chenaux tapissés de matériaux imputables au Donau semble aujourd'hui acquise, on a déjà signalé (3) que cette interprétation n'emportait pas la conviction.

Aussi, faute de repères valables dans le piémont nord-pyrénéen, on pourrait être tenté, une fois encore, de chercher quelques éléments de réponse dans la proche région languedocienne. Là, en effet, paléontologie et sédimentologie parlent de façon

- - - - - - - - - - - - - - -

(2) Du moins sur le plateau de Lannemezan; le plateau de Cieutat - Orignac serait en effet à dominante pliocène.

(3) Cf. Chapitre X, 2, D. a.

(1) Rappelons que depuis les congrès de Londres (1948) et Alger (1952), le Villafranchien est rattaché au Quaternaire : dans les travaux antérieurs à ces dates, l'attribution des plateaux de piémont au Pliocène ne posait donc pas de problème. Il reste que cette conception d'un Quaternaire englobant l'ensemble du Villafranchien est aujourd'hui nettement remise en cause (J. CHALINE, 1972).

apparemment plus claire (J. BARRIERE et al., 1970; J. BARRIERE, 1971 c) et s'expriment dans la série stratigraphique synthétique suivante :

- au-dessus des sables astiens reposent généralement des niveaux transgressifs marneux à faciès lagunaire (dépôts à Potamides basteroti), puis des formations argileuses à minéraux gonflants;

- celles-ci supportent en maints endroits des bancs fortement carbonatés, revêtant parfois l'aspect de véritables calcaires lacustres;

- la série postastienne se termine par d'épaisses formations détritiques grossières, d'abord sablo-graveleuses, puis à galets. Les couches supérieures de ce dépôt sont profondément pédogénisées, le front d'altération s'établissant de quelques mètres à plus de 10 m sous la surface selon la nature des éléments (siliceux ou calcaires). Antérieurement rapportées à un Pliocène terminal, ces venues détritiques sont attribuées aujourd'hui au Villafranchien inférieur, première étape du Quaternaire, pour des raisons à la fois sédimentologiques (nette rupture dans le type de sédimentation) et paléontologiques (seuil faunique dans l'évolution des Micromammifères, J. MICHAUX, 1966).

On est alors en droit de se demander dans quelle mesure les épandages des plateaux de piémont nord-pyrénéens pourraient représenter l'équivalent stratigraphique de ce Villafranchien inférieur languedocien. Comme ces dernières, en effet, la Formation de Lannemezan postpontienne correspond aux dernières grandes venues détritiques immédiatement antérieures au creusement des vallées. Dans cette hypothèse, les "argiles grises supérieures" ou

les niveaux argileux à faciès molassique qui, par endroit, surmontent les lignites fossilifères d'Orignac (F. TAILLEFER, 1951 a), ne pourraient-elles pas être considérées comme les homologues des couches lagunaires à reliques de Potamot et des bancs à argiles gonflantes du Languedoc ? La molasse saline qui, aux Tuileries de Barbazan-Debat, supporte la Formation de Lannemezan, évoque en tout cas des conditions de milieu assez proches des lagunes à Potamides basteroti.

Mais il faut bien convenir que, contrairement au bas Languedoc, aucun indice décisif, sédimentologique ou paléontologique, ne permet véritablement de trancher. D'autre part, il est clair que les conditions de dépôt des formations de piémont sous-pyrénéennes, qui sont celles d'une bordure de haute montagne, diffèrent notablement des modalités d'accumulation dans les bassins languedociens, dominés par des reliefs modestes où les roches calcaires abondent très largement. On mesure là, une fois encore, toute la complexité des corrélations interrégionales. Aussi doit-on sans doute abandonner tout espoir de fixer avec une certaine rigueur la limite Tertiaire-Quaternaire dans le piémont, comme cela a pu être fait ailleurs, grâce à l'apport conjugué de la paléontologie et de la sédimentologie. De ce problème, on peut en revanche tenter une approche essentiellement morphoclimatique, pour peu qu'on examine à grands traits l'évolution du piémont nord-pyrénéen depuis le Néogène.

C - Néogène-Donau et Donau-Würm : deux types d'évolution morphoclimatique divergents

Comme l'a montré F. TAILLEFER (1951 a), par leur

situation en bordure de la montagne, par leurs caractères morphologiques et sédimentologiques, les cônes de piémont nord-pyrénéens témoignent de climats nettement semi-arides. De la même façon, les niveaux postastiens à Potamides basteroti, à argiles gonflantes et à concentrations de carbonates du bas Languedoc, dont il vient d'être question, sont loin d'être incompatibles avec un régime climatique à tendance plus ou moins aride (J. BARRIERE, 1971 c). Enfin, les travaux paléontologiques récents menés dans le Midi de la France semblent accréditer l'hypothèse d'un assèchement progressif du climat au cours du Pliocène, comme l'indiquent l'adaptation des Rongeurs (J. MICHAUX, 1971) et l'évolution de la végétation (A. PONS, 1964, 1969).

Cette tendance à l'aridité s'est probablement esquissée dès le début du Néogène, sinon dès la fin du Paléogène, alors que le dépôt des molasses se poursuivait dans le bassin sédimentaire sous-pyrénéen. Si, dans l'ensemble, les données paléontologiques attestent les conditions encore chaudes et humides du début de l'Oligocène, dès l'aube du Néogène, la présence de populations de savanes (Antilopes, Rongeurs, Acérathéridés ...) et d'espèces transhumantes (Cervidés), l'existence de Graminées abondantes et de quelques feuillus caducifoliés, sont sans doute l'indice d'un couvert végétal réduit, déjà adapté à un climat à saisons sèches marquées (F. CROUZEL, 1957, 1972). Et il est vrai que le déblaiement et le mode d'accumulation des matériaux molassiques arrachés aux Pyrénées et déposés par d'innombrables cours d'eaux divaguants, évoquent beaucoup plus une longue période à tendance globalement rhexistasique, qu'une séquence à caractère biostasi-

que. Les faciès de redistribution et de ségrégation du calcaire au sein de la molasse oligo-miocène; les propriétés des minces paléosols intra-molassiques à néoformation de montmorillonite que nous avons pu mettre en évidence et dont l'existence traduit l'exondation temporaire et locale des dépôts (F. CROUZEL et al., 1972); la pauvreté générale de la molasse en minéraux qui, comme les kaolinites, pourraient résulter de longues et vigoureuses altérations pyrénéennes ... Tous ces traits s'intègrent assez bien dans un contexte climatique sans doute encore relativement chaud mais déjà marqué par la sécheresse.

Ainsi, l'impression se dégage que, depuis le début du Néogène au moins, la tendance aride des climats a dû se renforcer peu à peu avec le temps : de fait, les faciès grossiers et graveleux, déjà plus fréquents dans l'Helvétien supérieur (F. CROUZEL, 1957), se précisent largement dans les dépôts pontiens accumulés non loin des Pyrénées et règnent sans partage dans les formations de piémont du type Lannemezan. Ces dernières représentent sans doute une période charnière sur le plan climatique. Peu après, en effet, apparaît un nouveau type de morphogénèse, sensiblement différent du précédent. Les nappes du Donau se mettent en place et tapissent des chenaux plus ou moins profondément taillés dans les plateaux de piémont, tandis que, dans l'avant-pays, elles se déposent dans des sortes de gouttières qui, inscrites dans la molasse, préfigurent largement les grandes vallées actuelles, en l'occurence Garonne et Ariège. Cette remarquable rupture entre d'une part, des épandages relativement courts adossés aux Pyrénées, très étalés et très épais, d'autre part, des nappes plus étroites mais mieux canalisées, moins puissantes mais s'allon-

geant, pour certaines d'entre elles, jusqu'au littoral atlantique, tout cela revêt une signification climatique évidente. C'est là l'ébauche d'un réseau hydrographique véritable, de caractère exoréïque, qui postule une alimentation déjà moins irrégulière des cours d'eau à bassins versants montagnards et, partant, un climat moins aride, aux précipitations sinon plus abondantes, en tout cas moins mal réparties dans le temps.

Au total, alors que depuis le début du Néogène, l'évolution des climats traduit apparemment un assèchement progressif, déjà sensible au Miocène, affirmé au Pontien, décisif lors du façonnement des cônes de piémont, on assiste au contraire, dès avant le Donau, à un retournement complet de situation, marqué par un regain de l'humidité, peut-être tout relatif, mais lourd de conséquences pour la morphogénèse. Ainsi, l'entaille correspondant aux chenaux et couloirs inscrits sous les croupes culminantes du plateau de Lannemezan et du piémont entre Ariège et Garonne, de même que le façonnement des gouttières qui, ouvertes dans la molasse, ont fixé le cours des écoulements danubiens, peuvent être mis en rapport avec un épisode plus humide, à tendance biostasique, immédiatement antérieur au Donau : nous l'avons baptisé "pré-Donau", sans nous dissimuler la part d'hypothèse qu'offre cette interprétation (figure 47).

Des faits précédents, ont peut et on doit tirer un enseignement stratigraphique : tant que des arguments d'ordre paléontologique (1) ne viendront pas étayer, comme c'est le cas en Lan-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Ce qui reste peu probable, étant donné l'acidité du milieu.

guedoc, l'attribution des plateaux de piémont à un Villafranchien inférieur, première étape du Pléistocène, force nous est d'accorder à cette rupture morphoclimatique une valeur stratigraphique déterminante. Jusqu'à preuve du contraire, et à défaut d'un pré-Donau dont l'existence ne peut être authentifiée avec certitude, c'est le Donau, avec ses épandages bien caractérisés, qui inaugure les temps quaternaires dans le piémont garonnais et ariégeois.

Le Donau signale ainsi une claire limite dans l'histoire du piémont : à la longue période Néogène-Donau succède un Quaternaire beaucoup plus bref, marqué par un accroissement graduel de l'humidité, probablement doublé, dès le Donau, d'une baisse des températures. Mais cette évolution s'est faite par à-coups, comme le traduit l'étagement très général de 5 générations de remblaiements au-dessous des croupes culminantes des plateaux de piémont : après le Donau, deux brusques poussées semi-arides jalonnent en effet le déroulement des temps prérissiens, tandis que, du début du Riss à la fin du Würm, le froid humide et parfois sec des deux glaciations pyrénéennes a été interrompu par un interglaciaire au climat tempéré.

- CONCLUSION : LE QUATERNAIRE : UNE LONGUE PERIODE DE REPOS MORPHOGENIQUE, ENTRECOUPEE DE BREFS MAIS ENERGIQUES EPISODES RHEXISTASIQUES

Au terme de ce chapitre, on peut tenter de dégager quelques observations générales relatives aux grandes lignes de l'évolution quaternaire, telle que celle-ci se révèle du moins dans le piémont garonnais et ariégeois.

- En premier lieu, et comme l'avait déjà noté H. ENJALBERT (1960) à propos des crises climatiques quaternaires, il faut bien constater que les 5 grandes phases rhexistasiques d'érosion, auxquelles répond un nombre égal de remblaiements majeurs, ne se sont pas succédé identiques à elles-mêmes. Après un Donau nettement semi-aride, Günz et Mindel correspondent sans doute à des épisodes bioclimatiques déjà moins secs, à caractères voisins; enfin, les deux périodes glaciaires, Riss et Würm, ont été d'ampleur très inégale, si l'on en juge par l'importance de l'englacement rissien.

- D'autre part, si l'on accorde quelque crédit aux estimations chronologiques évoquées à plusieurs reprises dans ce travail, il est clair que les phases rhexistasiques quaternaires ne se sont pas manifestées à intervalle régulier et ne traduisent en rien une quelconque périodicité dans le déclanchement des phénomènes morphogéniques : tout au contraire, ces derniers semblent s'être amorcés d'une façon parfaitement aléatoire.

S'il en était encore besoin aujourd'hui, les deux observations précédentes démontrent avec éclat le caractère illusoire de la notion de "cycle" d'érosion morphologique, notion pratiquement abandonnée de nos jours (1).

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Cycle qui, comme son nom l'indique, postule à la fois une certaine périodicité des phénomènes, l'intervention de mécanismes morphogéniques, donc, de conditions de milieu, identiques d'une phase à l'autre, et l'évolution "en circuit fermé" du modelé.

- On peut également contester certaines façons traditionnelles de représenter schématiquement, voire graphiquement, l'évolution climatique quaternaire. Celle-ci, en effet, est fréquemment montrée sous la forme d'une série de pulsations, d'ampleur et de caractères variables, mais qui sont implicitement considérées comme continues et s'enchaînant les unes aux autres. L'ensemble est figuré le plus souvent par une sorte de sinusoïde : ainsi, par exemple, la phase cataglaciaire d'une glaciation donnée (1) s'amortit progressivement, devenant d'abord phase cataglaciaire de l'interglaciaire suivant, puis, après un "paroxysme" tempéré, phase anaglaciaire de la nouvelle glaciation qui s'amorce, et ainsi de suite. Certes, c'est là une vue volontairement très schématique sinon caricaturale des choses, sans doute justifiée par un souci d'efficacité pédagogique (2). Mais elle nous semble entretenir fâcheusement l'image, erronée à nos yeux, d'une évolution quaternaire continue, où la fin d'un épisode rhexistasique (ou d'une crise climatique) coïnciderait nécessairement avec le début de la période rhexistasique suivante.

Or, s'il existe un trait majeur de l'évolution climatique quaternaire, telle que nous l'avons appréhendée dans le piémont garonnais et ariégeois, c'est bien sa frappante discontinuité et, en particulier, l'intercalation, entre deux phases rhexistasiques suc-

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Mais ce pourrait être aussi bien un épisode rhexistasique du type semi-aride.

(2) Ces représentations sinusoïdales, qui semblent dater de l'époque de C. DEPERRET, sont en effet perpétuées par nombre de manuels géologiques, même les plus récents (P. BELLAIR et al., 1971 et C. POMEROL, 1973, notamment).

cessives d'une période de repos morphogénique et de pédogénèse, parfois extrêmement longue et dont les caractères climatiques n'offrent apparemment aucune relation de continuité avec ceux des épisodes de morphogénèse qui l'encadrent. Exprimer cette interprétation sous forme graphique, c'est d'abord mettre l'accent sur ces discontinuités fondamentales (figure 47).

- Enfin, les lignes précédentes nous conduisent à une dernière observation, qui aurait l'allure d'une redondance si elle ne permettait d'estimer, ne serait-ce que très grossièrement, la durée des épisodes de morphogénèse quaternaires. En effet, dans la mesure où, depuis le début du Donau, c'est environ 1,5 à 2 millions d'années qui ont dû s'écouler, il faut bien considérer que les phases de repos morphogénique et de pédogénèse en constituent l'essentiel (1), faute de quoi le développement de puissantes altérations antérissiennes reste inexplicable. En conséquence, les épisodes de morphogénèse, correspondant à la mise en place des grands remblaiements, n'ont pu être que relativement brefs, de l'ordre de la centaine de milliers d'années, sinon encore moins comme pour le Riss et le Würm (figure 47) (2). Si besoin était,

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) En admettant un Quaternaire long de 2 millions d'années et des durées du Donau-Günz, Günz-Mindel et Mindel-Riss, respectivement de 700, 200 et 600 000 ans environ, la longueur cumulée des phases de repos morphogénique représenterait alors plus de 1 500 000 ans, soit plus des 3/4 de la durée totale du Quaternaire.

(2) Cette grande brièveté des épisodes morphogéniques corrobore parfaitement le point de vue exprimé un peu plus haut, à savoir qu'une phase rhexistasique ou une crise climatique donnée ne s'achève pas au moment où s'ébauche l'épisode rhexistasique suivant. Brutalement déclenchées (à l'échelle du Quaternaire, quelques milliers d'années constituent une transition très rapide) les conditions bioclimatiques de la rhexistasie ont dû également vite s'évanouir pour faire place à celles, radicalement différentes, de la période biostasique suivante.

1. Episodes semi-arides - 2. Episodes à froid modéré - 3. Episodes à froid vif (glaciations) - 4. Episodes tempérés - 5. Phases d'érosion et de remblaiement (rhexistasie) - 6. Phases de creusement des cours d'eau et de pédogenèse (biostasie). L'unité de temps 10^5 ans ne concerne que le Quaternaire.

Au cours du Néogène, la tendance aride des climats se renforce et culmine lors de la phase d'épandage des cônes de piémont. Le Donau, peut-être précédé d'un épisode plus humide de creusement (pré-Donau), marque le début du Quaternaire. Celui-ci apparaît globalement comme une longue période biostasique tempérée, entrecoupée de 5 brefs mais efficaces épisodes morphogéniques, dont seuls les deux derniers correspondent à des périodes glaciaires, très rapprochées l'une de l'autre.

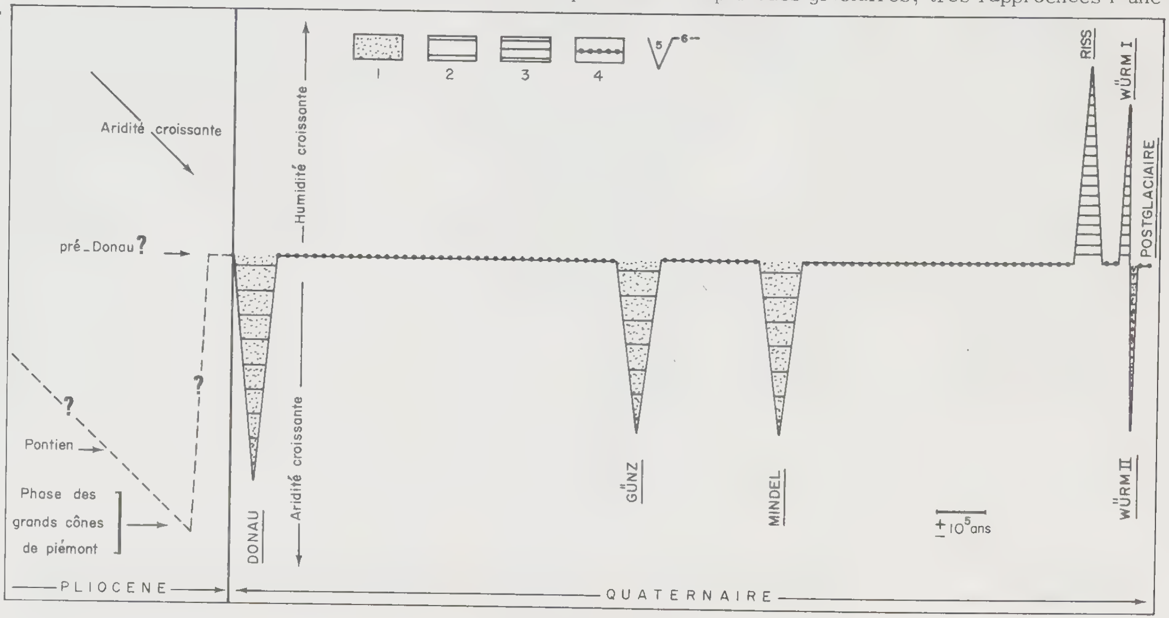


FIGURE 47

cela tendrait à prouver que, contrairement aux modalités de l'altération et de la pédogénèse, il n'existe pas de relation nécessaire entre la longueur d'un épisode de morphogénèse et l'ampleur, la puissance ou les caractères des formes créées.

Dans le piémont garonnais et ariégeois tout au moins, et à petite échelle, l'ensemble des temps quaternaires apparaît donc d'abord comme une longue période biostasique tempérée, marquée par l'assoupissement de la morphogénèse, le développement des altérations et le creusement des cours d'eau. Mais cette longue évolution a été entrecoupée de 5 brèves et violentes phases rhexistasiques n'offrant aucune périodicité, d'ampleur et de caractères très inégaux. Elles ont été particulièrement favorables à un rapide bouleversement des paysages et du modelé, les trois plus anciennes, à tendance semi-aride et modérément froides, les deux dernières, beaucoup plus récentes, franchement froides et globalement humides, très rapprochées l'une de l'autre.

CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET
ANALYTIQUES DE PROFILS
PEDOLOGIQUES REPRESENTATIFS

Abréviations, signes et symboles utilisés

Description des profils :

- Couleur : Code Munsell
- TRA : taux de recouvrement apparent (d'éléments grossiers, de zones de couleur etc..), en % de la surface de l'horizon ou d'une partie de l'horizon.

Tableaux d'analyses :

- Prof. cm : profondeur en cm
- EG : éléments grossiers, de taille supérieure à 2 mm
- TF : terre fine, éléments inférieurs à 2 mm
  - SG : sables grossiers (0,2 à 2 mm)
  - SF : sables fins (0,05 à 0,2 mm)
  - STF : sables très fins (0,02 à 0,05 mm)
  - L ; limons (0,002 à 0,02 mm)
  - A : argiles (inférieures à 0,002 mm)
- Calcaire : T: total
  A: actif
- MO : matière organique totale
- meq : milli-équivalents
- S : somme des bases échangeables
- T : capacité d'échange
- FT : fer total
- FL : fer libre

Méthodes d'analyses

Granulométrie : pipette Robinson et méthode internationale
(sédimentation discontinue et décantations successives)

dispersion par NH_4 OH concentré (sols non calcaires) ou par l'hexaméta-phosphate de sodium (sols calcaires).

Calcaire :

total : dégagement de CO_2 (calcimètre Bernard)

actif : méthode Drouineau (oxalate d'ammonium)

pH : électrométrie; rapport sol/eau ou sol KCl/N : 1/2,5

P_2O_5 : seul le phosphore assimilable a été dosé ;

. méthode Dyer (acide citrique)

. méthode Joret-Hébert (oxalate d'ammonium)

Carbone organique : méthode Anne (attaque sulfo-chromique)

. matière organique totale =
carbone organique x 1,724

Azote total : attaque Kjeldahl

Bases échangeables : acétate d'ammonium N, pH 7
(procédure également utilisée pour les sols calcaires)

.../...

Capacité d'échange : méthode Riehm (oxalate d'ammonium N/10)

Fer : total : attaque HCl concentré à chaud ; dosage volumétrique (bichromate)

libre : méthode Deb modifiée O.R.S.T.O.M. (hydrosulfite)

Al_2O_3 : seul l'aluminium libre a été dosé. Méthode O.R.S.T.O.M. (hydrosulfite en mélange acétique et tartrique).

I.- SOLS PEU EVOLUES DES LITS MAJEURS ET DES ZONES BORDIERES DES BASSES PLAINES ALLUVIALES.

- Calcaires
  Profils n° 1 - 2 - 3

- Non calcaires
  Profils n° 4 - 5

Profil n° 1 (21/3/72/2)

Localisation : 31 - Seilh ; X = 1°11' ; Y = 43°42' ; h = 119 m

Site géomorphologique : Lit majeur de la Garonne ; ramier de Seilh

Exploitation biologique : Peupliers ; blé.

Classification : Sol peu évolué d'apport alluvial.

DESCRIPTION

0 - 15 cm Ap	: Brun. Sablo-limoneux - Calcaire. Structure particulaire à légèrement motteuse. Nombreuses racines de Graminées. Limite inférieure assez franche, ondulée.
15 - 50 cm C_1	: Brun clair. Limono-sableux. Calcaire. Structure grossièrement nuciforme à grumeleuse. Nombreuses galeries d'Annélidés, avec amas coprogènes, racines nombreuses. Coquilles de Gastéropodes. Limite inférieure graduelle et légèrement ondulée.
50 - 140 cm C_2	: Brun-beige. Limono-sableux à limono-sablo-argileux. Calcaire, quelques spots blancs de calcaire poudreux (moins de 1 mm de diamètre). Structure massive à tendance nuciforme. Limite inférieure franche, rectiligne.
plus de 140 cm II C	: Nappe caillouteuse à galets cristallins dominants. Cailloux frais et blanc. Matrice sableuse grossière beige clair.

.../...

Analyse (Profil n° 1)

Prof. cm	EG	GRANULOMETRIE %				
		% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 30	0	4,7	40,3	22,1	15,8	15,2
40 - 50	0	1,1	30,8	24,6	22,3	19,6
90 -100	0	2,8	35,3	25,8	18,0	16,2

Prof. cm	Calcaire %		pH		P_2O_5 ‰	
	T	A	eau	K Cl	citrique	Joret
20 - 30	6,1	0	8,1	7,1	0,04	0,03
40 - 50	6,4	0	8,2	7,1	0,03	0,02
90 -100	6,7	0	8,0	7,1	0,02	0,03

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
20 - 30	38,2	0,1	0,7	0,09	39,0	12,0	sat.
40 - 50	38,9	0,1	1,0	0,09	40,0	13,1	sat.
90 -100	40,3	0,1	1,2	0,1	41,7	13,6	sat.

Profil n° 2 (21/3/72/3)

Localisation : 31 - Toulouse-Sept Deniers ; X = 1°24' ; Y = 43°37'
h = 130 m

Site géomorphologique : Zone bordière de la basse plaine garonnaise, au-dessus du lit majeur proprement dit.

Exploitation biologique : Malvacées et Graminées adventices ; secteur de gravière.

Classification : Sol peu évolué d'apport alluvial à pseudogley profond diffus.

DESCRIPTION

0 - 12 cm Ap	: Brun. Sablo-limoneux. Légèrement calcaire. Structure motteuse à nuciforme. Racines. Trous et déjections d'Annélidés. Limite inférieure assez franche, très ondulée.
12 - 50 cm A-C	: Brun-beige. Limono-sableux, légèrement calcaire. Structure massive à motteuse. Racines. Quelques amas coprogènes et coquilles de Gastéropodes et bon état de conservation. Limite inférieure franche et rectiligne.
50 - 80 cm C_1	: Beige. Sableux. Légèrement calcaire. Structure particulaire. Limite inférieure franche, localement ondulée.
80 - 200 cm C_2	: Brun et beige. Limono-sableux avec lentilles sableuses. Coquilles de Gastéropodes. Limite inférieure graduelle est ondulée.
Plus de 200 cm C_3 g	: Horizon marmorisé à plages ocre-beige et beige clair. Limono-sableux. Calcaire. Structure massive. Nappe phréatique à 260 cm.

.../...

Analyse (Profil n° 2)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 30	0	2,0	32,2	28,0	21,1	17,1
50 - 70	1	16,1	54,4	10,2	11,2	9,1
80 - 90	0	2,2	33,6	27,5	16,5	19,2
210- 220	0	1,9	29,7	29,2	20,1	19,1

Prof.	Calcaire %		pH		matière organique %			
cm	T	A	eau	KCl	MO	C	N	C/N
15 - 30	1,0	0	7,1	6,5	1,1	0,63		
50 - 70	2,1	0	7,6	7,0	0,7	0,45		
80 - 90	11,6	2,7	7,7	7,0	0,5	0,33	0,05	6,0
210- 220	9,9	1,9	7,8	7,0	0,3	0,22		

Prof.	Complexe Absorbant meq %						
cm	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
15 - 30	12,5	0,1	1,4	0,09	14,1	13,2	sat.
50 - 70	6,6	0,09	0,9	0,00	7,5	6,9	sat.
80 - 90	41,5	0,1	2,2	0,09	43,8	14,6	sat.
210 -220	39,8	0,1	2,1	0,1	42,1	14,0	sat.

Profil n° 3 (7/9/71/2)

Localisation : 31 - BEAUZELLE ; X = 1°23' ; Y = 43°39'; h = 125 m

Site géomorphologique : Ramier de Beauzelle, au-dessus du lit majeur proprement dit de la Garonne.

Exploitation biologique : Cultures maraîchères.

Classification : Sol peu évolué d'apport alluvial.

DESCRIPTION

0 - 20 cm Ap	:	Brun jaunâtre foncé (2,5 Y 4/4). Limono-sableux. Calcaire. Structure nuciforme à grumeleuse, horizon meuble et souple. Nombreuses racines. Quelques coquilles de Gastéropodes. Limite inférieure franche, très ondulée.
20 - 60 cm C_1	:	Brun-jaune (10 YR 6/4). Limono-sableux. Calcaire. Structure nuciforme. Nombreuses racines. Coquilles de Gastéropodes. Quelques rares petits galets (quartz), aspect frais, non patinés. Limite inférieure graduelle, rectiligne.
60 - 150 cm C_2	:	Brun-jaune (10 YR 6/4). Sablo-limoneux à limono-sableux. Calcaire. Structure particulaire. Rares coquilles de Gastéropodes.

.../...

Analyse (Profil n° 3)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
0 - 20	0	13,2	38,0	17,8	14,8	15,2
30 - 40	3	6,1	43,2	19,7	14,9	15,0
75 - 85	0	5,1	61,0	14,2	9,5	11,9

Prof. cm	Calcaire%		pH		Matière organique %			
	T	A	eau	KCl	MO	C	N	C/N
0 - 20	5,9	0	8,3	7,8	1,3	0,74	0,07	10,1
30 - 40	5,7	0	8,7	7,8	0,7	0,41	0,05	7,8
75 - 85	5,9	0	8,7	7,9	0,3	0,20	0,03	7,0

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
0 - 20	19,3	0,1	0,5	0,08	20,0	9,9	sat.
30 - 40	17,2	0,06	0,6	0,09	17,9	9,1	sat.
75 - 85	20,0	0,07	0,3	0,09	20,4	9,1	sat.

Profil n° 4 (26/8/72/6)

Localisation : 09 - Faure-Jean ; X = 1°37' ; Y = 43°5' ; h = 307 m

Site géomorphologique : Elément de basse plaine de l'Ariège, inscrit sous le niveau de la Grausse.

Aspect de surface : Quelques galets, localement blocs de 40-70cm de grand axe.

Exploitation biologique : Jachère à Graminées

Classification : Sol peu évolué d'apport alluvial.

DESCRIPTION

0 - 30 cm A_1 puis A_1 C	: Brun clair (10 YR 6/3). Limoneux à limono-sableux. Structure légèrement massive à débit finement motteux ou granulaire. Racines, larges galeries zoogènes. Galets dans la masse, TRA : 10 à 15 %, longueur moyenne 5 à 10 cm. Limite inférieure assez franche, ondulée.
30 - 65 cm II A_1 C_1 puis II C_1	: Brun-jaune (10 YR 5/4). Sablo-limoneux. Structure particulaire, localement finement granulaire. Chevelu de radicelles par place. Très caillouteux, graviers et galets TRA : 40 à 60 %, longueur moyenne des galets 6 à 12 cm. Par endroit, poches plus ocres (10 YR 5/6 à 7,5 YR 6/6). Limite inférieure assez franche, ondulée.
65 - 110 cm II C_2	: Brun-jaune. Sableux. Structure particulaire. Nombreuses poches de graviers et gravillons siliceux dans la matrice sableuse.

.../...

Analyse (Profil n° 4)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 20	0	32,4	27,4	12,0	14,0	11,6
50 - 60	76,5	77,2	13,0	1,8	2,4	4,2
80 - 90	39,5	81,2	10,4	4,1	1,9	2,9

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
10 - 20	6,3	4,7	1,9	1,13	0,14	8,0
50 - 60	5,8	4,6	1,0	0,62	0,05	12,0
80 - 90	5,8	4,7				

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
10 - 20	5,2	0,06	0,3	0,06	5,6	9,8	57
50 - 60	0,8	0,02	0,00	0,00	0,8	7,1	12

Profil n° 5 (24/7/71/3)

Localisation : 31 - Ausson ; X = 0°36' ; Y = 43°5' ; h = 405m

Site géomorphologique : Lit majeur de la Garonne.

Exploitation biologique : Prairie naturelle abandonnée, végétation du bord des eaux.

Classification : Sol peu évolué d'apport alluvial, humifère.

DESCRIPTION

0 - 15 cm A_{11}	: Brun-noir (10 YR 3/2). Limoneux à limono-sableux. Structure nuciforme assez fine. Racines. Quelques graviers siliceux roulés, localement abondants (TRA : 10 %). Limite inférieure graduelle.
15 - 45 cm A_{12}	: Brun-gris (10 YR 4/2 à 2,5 Y 5/2). Limoneux à limono-sableux. Structure nuciforme à polyédrique émoussée. Graviers siliceux roulés, localement en lentille. Limite inférieure graduelle et ondulée.
45 - 135 cm C	: Brun-gris (10 YR 5/2). Sablo-limoneux. Structure particulaire à légèrement nuciforme. Graviers siliceux roulés plus nombreux (TRA : 10 - 15 %). Limite inférieure franche et ondulée.
135 - 180 cm II G	: Nappe de galets, TRA : 80 - 90 %, cristallins, quartz, quartzites, longueur moyenne 15 - 20 cm, généralement frais, non patinés ; quelques cristallins fragilisés et légèrement rubéfiés dans les fissures. Matrice sableuse claire, avec cependant quelques poches plus ocre. Rares passées sableuses.

.../...

Analyse (Profil n° 5)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
0 - 15	2	12,2	25,0	11,9	34,2	13,8
30 - 40	5	12,1	27,2	11,6	32,4	15,0
80 - 90	4	17,7	49,1	7,5	17,9	8,7
150 - 160	87,8	46,4	21,5	21,5	7,1	3,0

Prof. cm	Calcaire %		pH		Matière organique			
	T	A	eau	KCl	MO	C	N	C/N
0 - 15	0	0	6,1	5,8	4,2	2,45	0,20	12,1
30 - 40	0	0	6,3	5,9	1,6	0,95	0,09	10,0
80 - 90	0	0	6,2	5,9	0,8	0,50	0,06	8,3
150 - 160	tr.	0	6,5	6,1				

II.- SOLS A PROFIL TEXTURAL PEU OU NON DIFFERENCIE DES FORMATIONS RECENTES DE LA ZONE SOUS-PYRENEENNE ET DE LA GRAUSSE.

- Des vallums morainiques
  Profil n° 6 - 7

- Des terrasses alluviales
  - A profil textural non différencié
    Profils n° 8 - 9
  - A profil textural faiblement différencié
    Profils 10 - 11 - 12

Profil n° 6 (27/7/71/1)

Localisation : 09 - Garrabet ; X = 1°38' ; Y = 42°53' ; h = 500 m

Site géomorphologique : Moraines de Garrabet, rive droite de l'Ariège - Topographie de plateau, ondulée, pente locale 2 à 4 % vers le sud-ouest.

Exploitation biologique : Prairie naturelle à Graminées, Légumineuses.

Classification : Sol brun acide.

DESCRIPTION

0 - 15 cm A_1 : Brun-gris. Sablo-limoneux à limono-sableux. Structure granulaire à nuciforme, localement grumeleuse. Racines et radicelles nombreuses, galeries et déjections d'Annélidés. Gravillons et graviers (quartz et débris de cristallins), TRA : 10 à 20 % ; quelques mètres plus loin, les éléments caillouteux sont beaucoup plus abondants, avec galets et parfois blocs. Limite inférieure graduelle ici, plus franche un peu plus loin, très ondulée et très irrégulière.

15 - 50cm (B) : Brun-jaune. Sablo-limoneux à limono-sableux. Structure granulaire, à tendance localement polyédrique. Radicelles, galeries et déjections d'Annélidés (rares) : dans les ouvertures des galeries, accumulation de limon plus sombre. Gravillons, graviers et galets (3 à 4 cm de longueur moyenne), TRA : 10 à 20 % ; quelques mètres plus loin, la charge

.../...

en galets et blocs devient très importante (TRA : 50 à 80 %) et l'horizon s'apparente alors à celui décrit ci-dessous. Limite inférieure d'aspect très variable, graduelle ou franche, très irrégulière.

50 - 380 cm C ou II C : Nappe morainique, très hétérométrique. Gravillons, graviers, galets et blocs mêlés, avec zones ou poches très chargées, TRA variant de 50 à 90 %. Galets de moins de 15 - 20 cm de long, TRA : 50 % en surface à 30% en profondeur ; galets de 15 à 30 cm de longueur, TRA de 10 % en surface à 40 % en profondeur ; blocs de 30 - 50 cm à 200 cm et plus, TRA de 20 % en surface à 80 % en profondeur. Très nombreux cristallins, granite et gneiss ; aspect général assez frais, mais par place galets ou blocs arenisés ou fragilisés en surface ou sur toute l'épaisseur (galets) avec biotites mordorées et zones rouille ; sur 10 m de coupe, 10 à 20 % des galets de 3 cm à 25 cm sont plus ou moins fragilisés ou altérés. Matrice interstitielle sableuse avec passées locales à sable grossier et gravillons assez peu usés, plus limoneuse par endroit au contact de l'horiøon (B). Structure particulaire sauf au sommet de l'horizon où elle est parfois polyédrique fine. Quelques radicelles. Couleur de la matrice brun-jaune devenant plus ocre à partir de 150 - 200 cm. Par place, vers 250 - 300 cm, passées horizontales plus sombres, plus argileuses et collantes si l'humidité est suffisante, très riches en graviers et gravillons avec parfois débris de schistes pourris.

.../...

Analyse (Profil n° 6)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
0 - 15	7,9	38,3	24,6	11,2	12,1	13,9
30 - 50	15,3	37,2	19,9	17,3	11,3	12,43
160 - 180	30,8	61,2	16,7	6,1	9,0	5,8

Prof. cm	pH		Fe %		
	eau	KCl	FT	FL	FL/FT %
0 - 15	5,8	5,1	2,90	1,02	35
30 - 50	5,4	4,7	3,11	1,47	47
160 - 180	6,0	5,1	2,95	0,61	20

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
0-15	3,5	0,12	0,51	0,09	4,2	7,2	59
30-50	1,8	0,10	0,58	0,06	2,5	6,3	41
160-180	1,2	0,17	0,34	0,06	1,8	2,6	72

Profil n° 7 (31/8/72/2)

Localisation : 31 - Seilhan ; X = 0°35' ; Y = 43°3' ; h = 480 m

Site géomorphologique : Vallum de Lasserre, ensellement au sommet du vallum, pente 3-5 % vers le Sud.

Aspect de surface : Quelques blocs par endroits ; murettes en blocs et galets.

Exploitation biologique : Prairie naturelle, bordure boisée (Chênes sessiles et pubescents).

Classification : sol brun modal.

DESCRIPTION

0 - 35 cm

A_1

: Brun-gris sombre. Sablo-limoneux à limono-sableux. Structure granulaire, plus grumeleuse au sommet. Racines nombreuses. Gros galets et blocs, TRA : 20 à 40 %. Limite graduelle, très ondulée.

35 - 100 cm

A_1C

.uis C

: Brun-beige à poches brun sombre. Sableux à limono-sableux. Structure particulaire à granulaire dans les poches sombres riches en matière organique. Racines. Gros galets et blocs, longueur moyenne 25 à 40 cm, TRA : 50 à 80 % forme aplatie ou angles abattus, petits galets 5 à 15 cm interstitiels, quartz et cristallins surtout, quelques blocs bleu-noir de calcaire schisteux cénomanien. Matrice sableuse légèrement calcaire, surtout au contact des blocs calcaires. Localement, galets cristallins légèrement encroûtés de calcaire.

.../...

Analyse (Profil n° 7)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 25	29,2	40,7	18,8	7,9	19,1	9,9
60 - 70	66,4	58,3	23,1	4,0	15,8	7;6

Prof. cm	pH		Calcaire %		Matière organique %			
	eau	KCl	T	A	MO	C	N	C/N
10 - 25	6,9	6,2	0,4	0	3,1	1,82	0,15	11,7
60 - 70	7,3	6,8	3,1	0	1,0	0,58	0,06	8,4

Prof. cm	Fe %		
	FT	FL	FL/FT %
10 - 15	3,01	1,49	49 %
60 - 70	3,34	1,67	50 %

Profil n° 8 (25/7/71/1)

Localisation : 31 - Labarthe-de-Rivière ; X = 0°41' ; Y = 43°5' ;
h = 382 m

Site géomorphologique : Terrasse de la Garonne, rive droite (t_2' de la carte C.N.R.S. 1970), plan.

Aspect de surface : Galets et graviers abondants, TRA : 30 %

Exploitation biologique : Prairie naturelle.

Classification : Sol brun modal.

DESCRIPTION

0 - 30 cm A_1	: Brun sombre. Limono-sableux à limono-argilo-sableux. Structure à débit motteux à polyédrique, tendance nuciforme à grumeleuse en surface. Racines nombreuses. Eléments coprogènes, quelques canaux d'Annélidés. Graviers et galets très abondants, TRA : 30 à 50 %, longueur moyenne des galets : 7 à 20 cm, cristallins, quartz, quartzites. Limite inférieure graduelle, peu ondulée.
30 - 55 cm (B_1)	: Brun foncé. Limono-argilo-sableux. Structure à tendance polyédrique fine. Graviers et galets très abondants, TRA : 30 à 50 %. Limite inférieure graduelle et ondulée.
55 - 75 cm (B_2)	: Brun légèrement ocre. Limono-sablo-argileux. Structure particulaire à granulaire. Graviers et galets très abondants, TRA : 40 à 50 %.

Limite inférieure franche et ondulée.

75 - 140 cm : Nappe de galets, hétérométrique. Graviers et gravillons, parfois en lentille.

II CB à IIC   Galets de 15 à 20 cm de longueur en moyenne, cristallins, quartz, quartzites, débris de flysch décarbonaté, très rares éléments de calcaire urgo-aptien. Cà et là, cristallins fragiles ou partiellement arénisés, parfois nettement arénisés et / ou localement rubéfiés. Matrice sableuse brun clair avec plages plus ocre.

Analyse (Profil n° 8)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 20	29,8	21,0	10,6	16,2	26,3	19,9
35 - 45	52,0	25,3	10,7	15,9	25,9	20,2
60 - 70	43,7	34,4	10,7	14,0	19,5	17,9
110 - 120	82,9	61,3	14,6	10,0	9,3	6,1

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
10 - 20	6,5	6,0	3,6	2,11	0,21	9,9
35 - 45	6,8	6,3	1,2	0,70	0,09	7,5
60 - 70	7,2	6,6	0,7	0,41	0,05	8,1
110 -120	7,2	6,4	0,4	0,23	0,02	8,0

Analyse (Profil n° 8 - suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
10 - 20	9,2	0,2	0,4	0,4	10,2	12,0	85
35 - 45	7,2	0,1	0,2	0,1	7,6	8,8	87
60 - 70	5,9	0,06	0,2	0,1	6,2	6,8	91
110 - 120	2,5	0,02	0,1	0,1	2,7	3,0	90

Profil n° 9 (3/10/71/3)

Localisation : 09 - Foix ; X = 1°36' ; Y = 42°57' ; h = 390 m

Site géomorphologique : Terrasse du Courbet, rive gauche de l'Ariège ; topographie légèrement ondulée.

Aspect de surface : Quelques galets ou blocs plus rares.

Exploitation biologique : Graminées adventives et taillis bas de Chênes et Frênes.

Classification : Sol brun modal.

DESCRIPTION

0 - 35 cm A_1 : Brun foncé (10 YR 4/2). Limono-sableux. Structure finement polyédrique. Racines nombreuses. Galeries et déjections d'Annélidés. Modérément caillouteux et graveleux, TRA : 5 à 10 %, longueur moyenne des galets 3 à 5 cm. Limite inférieure graduelle ou franche d'un point à l'autre, très ondulée.

35 - 65 cm II CB_1 : Brun-jaune à brun-ocre (10 YR 5/6 à 5YR 5/4). Limono-sableux. Structure particulaire à faible tendance polyédrique. Par place, poches de limon brun foncé (10 YR 4/2) à structure construite plus nette. Cet horizon caractérise une nappe à galets et blocs, très hétérométrique, avec un TRA très variable de 20 à 80 %, longueur moyenne des galets 10 à 15 cm, celle des blocs 40à 70 cm. La proportion de blocs, modérée dans cet horizon, augmente dans les niveaux plus profonds. Quartz, cristallins, schistes, quelques calcaires (rares : 1 %) à faciès urgonien. Quelques

.../...

cristallins en voie d'arénisation, localement rubéfiés ou ocrés, donnant un résidus brun-jaune ou brun-gris à plages ocre. Par place, petites poches de gravillons. Limite inférieure graduelle, très ondulée.

65 - 250 cm : II CB_2 : Nappe hétérométrique à blocs plus abondants, TRA des éléments caillouteux variable : 50 à 80 % blocs métriques aux angles abattus fréquents surtout à partir de 100 - 150 cm (gneiss le plus souvent). Nombreux graviers de nature diverse dispersés dans la matrice. Quelques galets ou blocs calcaires, surtout en profondeur ; localement, dépôt de calcaire sur la face inférieure des éléments grossiers. 10 à 20 % des galets ou blocs cristallins fragilisés ou arénisés, parfois légèrement rubéfiés, mais au contour net. Matrice sablo-limoneuse à sableuse, brun-jaune avec des poches ocre localement, surtout en profondeur. Par place la matrice est calcaire, surtout à partir de 150 - 200 cm. Limite inférieure graduelle, ondulée.

250 - 420 cm: IIC : Nappe hétérométrique analogue à celle de l'horizon précédent. La proportion de galets ou blocs cristallins pourris est plus faible (5 % à 10 %). Matrice sableuse brun-jaune, structure particulaire calcaire, englobant des graviers et petits galets de nature diverse.

Analyse (Profil n° 9)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 30	28,1	27,2	17,6	12,5	18,7	21,0
50 - 60	47,7	47,3	17,5	8,7	12,7	11,8
90 - 110	40,7	59,6	18,4	4,8	8,7	7,6
130 - 140	71,4	61,2	17,5	4,9	8,6	7,4
200 - 220	59,1	68,0	14,7	2,8	7,2	6,7
380 - 390	75,3	79,1	8,1	2,9	6,3	3,0

Prof. cm	Calcaire %		pH		P_2O_5 ‰	
	T	A	eau	KCl	citrique	Joret
20 - 30	0	0	6,2	5,1	0,79	0,42
50 - 60	0	0	5,3	4,5	0,86	0,27
90 - 110	0	0	5,7	4,7	0,46	0,09
130 - 140	0	0	5,5	4,4	0,11	0,02
200 - 220	6,3	0	7,8	7,0	0,02	0,02
380 - 390	15,3	1,7	7,9	7,4	0,00	0,01

.../...

Analyse (Profil n° 9 -suite-)

Prof. cm	Matière organique %				Fe %		
	MO	C	N	C/N	FT	FL	FL/FT %
20 - 30	2,3	1,33	0,14	9,0	4,01	1,73	43
50 - 60	0,9	0,53	0,07	7,7	4,63	1,73	37
90 - 110	0,4	0,28	0,05	5,4	5,46	1,73	31
130 - 140	0,3	0,17	0,02	6,5	5,41	2,00	36
200 - 220	0,2	0,16	0,03	4,6	3,96	2,56	64
380 - 390	0,1	0,11	0,02	4,4	4,85	1,73	35

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
20 - 30	5,2	0,10	0,45	0,12	6,0	15,6	37
50 - 60	2,2	0,17	0,15	0,32	2,9	13,7	21
90 - 110	1,4	0,34	0,15	0,92	2,8	11,6	24
130 - 140	2,1	0,06	0,20	0,19	2,6	12,0	23
200 - 220	26,6	0,06	0,55	0,12	27,4	10,8	sat.
380 - 390	35,3	0,04	0,07	0,12	36,2	8,3	sat.

Profil n° 10 (31/8/72/7)

Localisation : 31 - Taillebourg ; X = 0°36' ; Y = 43°6' ; h = 410m

Site géomorphologique : "Haute" terrasse de la Garonne (t_2 de la carte C.N.R.S. 1970), plan.

Aspect de surface : Quelques galets, localement abondants. Bon drainage superficiel.

Exploitation biologique : Maïs irrigué et bordure de Graminées sauvages.

Classification : Sol brun faiblement lessivé.

DESCRIPTION

0 - 9 cm
A_1
: Brun foncé (10 YR 4/2). Limono-sableux. Structure granulaire à grenue. Racines. Quelques galets (5 à 10 cm de longueur) et graviers, TRA : 5 % à 10 %. Limite inférieure graduelle et ondulée.

9 - 35 cm
A_2
: Brun (7,5 YR 5/4). Limono-sableux. Structure légèrement massive à tendance polyédrique émoussée. Racines. Quelques galets et graviers. Limite inférieure graduelle et ondulée.

35 - 50 cm
B_1t
: Brun (7,5 YR 5/4 à 7,5 YR 4/4). Limoneux à limono-argilo-sableux. Structure motteuse, quelques fentes verticales. Revêtements argileux peu nets, mieux marqués vers le bas.

.../...

Galets (longueur moyenne 5 à 10 cm) et graviers déjà plus nombreux, surtout en profondeur (TRA : 10 à 20 %). Limite inférieure franche, très ondulée.

50 - 70 cm : Nappe de galets, hétérométrique, TRA : 60 à 80 %, longueur moyenne 12 à 16 cm, très

II B_2t nombreux graviers par place (20 à 60 % du TRA), cristallins, quartzites, quartz, quelques débris de flysch, assez nombreux cristallins déjà fragilisés, certains partiellement arénisés, avec ou sans plages de rubéfaction dans les fissures. Matrice brune (7,5 YR 5/6 à 7,5 YR 4/4) avec poches plus ocre (5 YR 5/6). Limono-sablo-argileux. Revêtements argileux autour des galets parfois nets. Structure assez massive à débit polyédrique émoussé. Limite inférieure graduelle, très ondulée.

70 - 110 cm : Nappe de galets, hétérométrique, analogue à celle de l'horizon précédent. Matrice brun-

II CB ocre (5 YR 4/4 à 7,5 YR 4/4). Sablo-limoneux à sableux. Structure particulaire, légèrement massive localement. Limite inférieure graduelle et ondulée.

plus de 110cm: Nappe de galets, très hétérométrique : graviers,

II C galets, blocs de plus de 40 à 50 cm. Quelques éléments calcaires, avec parfois recristallisation secondaire de calcite sur les faces

.../...

inférieures et localement, faciès de cimentation des galets et graviers (surtout en profondeur, au-dessous de 5-6 m). Matrice brun clair à poches brun-ocre, sableuse, très localement calcaire. Structure généralement particulaire.

Analyse (Profil n° 10)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 30	20,1	24,3	23,4	17,3	12,8	18,8
40 - 50	18,7	30,6	14,3	11,5	18,3	23,1
55 - 65	23,7	31,9	17,5	10,1	19,8	18,9
75 - 95	33,6	70,5	8,6	4,8	8,5	6,1
115 - 125	40,0	60,3	16,4	7,6	10,6	4,3

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
20 - 30	5,6	4,5	2,1	1,2	0,12	9,3
40 - 50	5,5	4,5	1,4	0,82	0,09	8,9
55 - 65	5,4	4,3	1,2	0,73	0,09	7,4
75 - 95	5,7	4,9	0,6	0,35	0,06	5,8
115 - 125	5,9	5,0	0,4	0,24	0,02	10,3

Analyse (Profil n° 10 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT%
20 - 30								2,84	1,50	52%
40 - 50								3,12	1,72	52%
55 - 65	0,7	0,0	0,0	0,0	0,9	11,7	7	2,23	1,95	87%
75 - 95	0,5	0,0	0,0	0,0	0,6	10,1	6	4,91	1,28	26
115 - 125	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	8,0	6	4,57	1,50	32

Profil n° 11 (24/7/71/4)

Localisation : 31 - St-Gaudens-Ouest ; X = 0°41' ; Y = 43°6' ; h = 375 m

Site géomorphologique : Basse terrasse de la Garonne (t_1 de la carte C.N.R.S. 1970). Très faible pente vers le Sud-Ouest.

Exploitation biologique : Prairie naturelle.

Classification : Sol brun faiblement lessivé, à pseudogley diffus de profondeur.

DESCRIPTION

0 - 15 cm A_1	: Brun foncé (10 YR 3/2 à 10 YR 4/2). Limoneux à limono-sableux. Structure nuciforme à grumeleuse. Racines abondantes. Eléments coprogènes. Quelques graviers, rares galets. Limite inférieure graduelle et ondulée.
15 - 40 cm A_2	: Brun (10 YR 4/2 à 10 YR 5/2). Limoneux à limono-sableux. Structure nuciforme à polyédrique, légèrement massive. Racines. Canaux d'Annélidés. Quelques graviers ou galets dispersés, localement rassemblés en lentille. Limite inférieure graduelle et ondulée.
40 - 75 cm B_1t	: Brun-ocre (7,5 YR 5/2). Limono-sablo-argileux à limono-argileux. Structure polyédrique. Graviers et galets plus abondants. Quelques revêtements, argileux autour des galets. Limite inférieure très graduelle et ondulée.

.../...

75 - 115 cm : Brun-ocre (7,5 YR 5/2) à plages plus grises
B_2tg (10 YR 6/2). Limono-sableux à limono-argilo-sableux. Structure faiblement polyédrique. Quelques taches noirâtres, très rares concrétions ferrugineuses (diamètre : 5 mm). Graviers et galets (longueur moyenne 5 à 10 cm) assez abondants (TRA : 5 à 15 %) : quartz cristallins, quartzites, rarement calcaires aptiens. Limite inférieure franche, ondulée.

115 - 160 cm: Nappe de galets, assez hétérométrique, lon-
II BCg gueur moyenne de 10 à 20 cm, cristallins,
et II Cg quartzites, quartz. Faciès d'ensemble assez frais mais certains cristallins sont fragiles, parfois en voie d'arénisation, localement rubéfiés (ocre) sur les fissures. Par place, quelques revêtements noirâtres ou rouille sur les galets. Matrice sableuse gris-ocre avec plages plus ocre.

Analyse (Profil n° 11)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
0 - 15	2	9,3	20,0	17,2	36,8	16,1
25 - 30	5	11,0	21,8	16,9	34,3	15,3
60 - 70	5	9,3	17,9	18,9	34,1	21,1
90 -100	13,5	31,1	15,9	13,8	21,0	18,2

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
0 - 15	6,0	5,6	3,9	2,29	0,20	11,3
25 - 30	6,3	5,9	1,6	0,94	0,09	10,1
60 - 70	6,3	5,8	0,9	0,52	0,06	7,9
90 - 100	6,8	6,0				

Analyse (Profil n° 11 suite)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %		
	S	T	S/T %
0 - 15	10,9	16,3	66
25 - 30	4,6	9,4	48
60 - 70	5,1	9,9	51

Profil n° 12 (26/8/72/5)

Localisation : 09 - Villeneuve-du-Paréage ; X = 1°38' ; Y = 43°10' ;
h = 265 m

Site géomorphologique : Terrasse de l'Ariège , en contrebas de la basse Boulbonne, plan.

Aspect de surface : Nombreux galets, parfois quelques blocs, murettes de blocs et galets en bordure des champs.

Exploitation biologique : Ancienne vigne, et plantation de pommiers.

Classification : Sol brun faiblement lessivé.

DESCRIPTION

0 - 40 cm Ap et A_2	: Brun (en surface et en poches) et brun clair. Limono-argilo-sableux. Structure grossière en mottes et forts polyèdres, à tendance nuciforme en surface et dans les poches plus sombres. Graviers et galets, longueur moyenne 15 à 20 cm, TRA : 20 à 40% rares blocs de 30-40 cm. Quelques racines dont beaucoup sont mortes et sèches. Limite inférieure graduelle et très ondulée.
40 - 65 cm B_1t	: Brun légèrement rougeâtre à marron clair. Limoneux à limono-argileux. Structure légèrement massive à tendance polyédrique. Très caillouteux, graviers, galets de longueur moyenne 15 à 20 cm. Quelques racines. Quelques revêtements argileux. Limite inférieure nette, très ondulée, surtout de part et d'autre du profil.

.../...

65 - 90 cm : Nappe de galets, hétérométrique, longueur
II B_2t moyenne 15 à 25 cm, TRA : 50 à 80 % avec 10 % du TRA constitué par des gros galets ou blocs de longueur moyenne 30 à 40 cm. 50 à 70 % de cristallins, nombreux quartz, schistes et quartzites rares. 5 à 10 % des cristallins sont fragilisés ou fissurés et légèrement rubéfiés dans les fissures. Revêtements argileux autour des galets, assez nets. Matrice argilo-sableuse à sablo-argileuse, brun à marron, structure massive à débit polyédrique. Limite inférieure graduelle, ondulée.

90 - 160 cm : Nappe de galets, hétérométrique, à matrice
II CB sableuse à sablo-limoneuse, brun-beige à brun-ocre, structure particulaire. Localement lentilles sableuses parfois continues sur 10 à 30 m.

Analyse (Profil n° 12)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 35	57,1	18,4	28,1	12,9	17,5	19,4
50 - 60	63,7	10,2	35,2	13,9	15,1	25,0
70 - 85	48,2	29,7	13,2	15,9	11,6	24,4
115 - 130	39,9	69,7	11,8	3,2	8,3	6,9

III.- SOLS A PROFIL TEXTURAL DIFFERENCIE DES BASSES PLAINES DE L'AVANT-PAYS MOLASSIQUE.

- Sans horizons calcaires de profondeur
  Profils n° 13 - 14 - 15 - 16

- A ségrégation du calcaire en profondeur
  Profils n° 17 - 18 - 19

Profil n° 13 (24/7/71/2)

Localisation : 31 - Muret ; X = 1°19' ; Y = 43°28' ; h = 170m

Site géomorphologique : Basse plaine de la Garonne, rive gauche, plan.

Exploitation biologique : Zone de gravières à Graminées sauvages, Polygonacées etc.

Classification : Sol brun lessivé, remanié en surface.

DESCRIPTION

0 - 20 cm Ap_1 : Brun-gris foncé (10 YR 4/2). Limono-argilo-sableux. Structure massive à motteuse. Racines. Galets et graviers abondants, nombreux éléments brisés, débris de briques et de métaux. Limite inférieure franche et ondulée.

20 - 50 cm Ap_2 : Brun-gris clair (2,5 Y 5/2). Limono-argilo-sableux. Structure massive à grossièrement motteuse, horizon compact. Graviers et galets dont certains brisés. Racines rares. Limite inférieure franche (ligne de petits galets) ou graduelle, légèrement ondulée.

50 - 100cm A_2 : Brun jaunâtre clair (2,5 Y 5/4). Limono-argileux. Structure massive à débit schisteux fin vertical, quelques fentes verticales larges de 1mm, longues de 10 à 20 cm. Nombreux petits pores et fins canalicules, diamètre de l'ordre du millimètre. Quelques graviers, quelques galets dispersés de longueur moyenne 2 à

.../...

5 cm, TRA : 5 %. Limite inférieure graduelle, ondulée.

100 - 145cm : Brun (10 YR 4/3 à 10 YR 5/4). Argilo-limono-
$B_{11}t$ sableux. Structure massive à tendance polyédrique, quelques fentes verticales apparentes. Revêtements argileux nets autour des éléments structuraux et des galets, dans les fissures de la masse, de couleur 10 YR 4/3. Graviers et galets, TRA : 5 à 10 %, longueur moyenne des galets de 2 à 5 cm, petite lentille de gravillons vers 130 cm; consolidés dans la matrice argilo-limono-sableuse, galets et graviers patinés. Petits pores nombreux, diamètre 1/3 de mm. Quelques galets de granite fragiles. Limite inférieure franche (petite lentille de gravillons) ou graduelle, ondulée.

145 -165cm : Ibidem $B_{11}t$ mais de couleur brune plus homo-
$B_{12}t$ gène (10 YR 5/3) structure plus massive. Limite inférieure franche et ondulée.

165 - 190cm : Nappe de galets, TRA : 60 à 80 %, taille
II $B_{2}t$ moyenne 4 à 8 cm, nombreux graviers. Cristallins, quartz, quartzites, quelques schistes. Certain nombre de cristallins fragiles, fissurés. Galets patinés en brun et brun-ocre, couleur de la matrice. Matrice sablo-argilo-limoneuse, brune à brun-ocre (10 YR 5/4 à 5 YR 5/4), structure massive à particulaire. Revêtements argileux encore nets autour des

.../...

galets. Limite inférieure graduelle, ondulée.

190 - 240cm : Nappe de galets, TRA : 70 à 80 %, taille
II CB moyenne très variable : empilement de bancs plus grossiers et plus fins. Graviers abondants. Galets patinés, certain nombre de cristallins altérés. Matrice sableuse, brune (10 YR 5/4), structure particulaire, horizon s'éboulant facilement. Limite inférieure graduelle, très ondulée.

240 - 330cm : Nappe de galets, TRA : 80 %. Cailloux blancs
II C non patinés, rares cristallins altérés. Matrice sableuse et graveleuse, brun-jaune clair (10 YR 6/4), structure particulaire.

Analyse (Profil n° 13)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
30 - 40	31,5	25,7	18,0	17,2	17,7	16,0
70 - 80	8,0	14,4	18,5	18,9	22,6	24,3
120 - 130	3,7	11,3	22,5	16,3	17,6	31,3
170 - 180	84,7	63,5	6,2	3,9	10,6	14,9
210 - 220	79,1	76,8	4,7	2,2	6,1	9,9
270 - 280	78,1	83,4	5,5	1,3	3,8	5,6

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
30 - 40	7,0	6,2	4,6	2,68	0,23	11,4
70 - 80	7,0	5,9	0,5	0,31	0,06	4,7
120 - 130	6,6	5,7	0,4	0,25	0,06	3,6
170 - 180	6,2	5,2	0,2	0,14	0,03	4,0
210 - 220	6,2	5,1	0,1	0,08	0,03	2,5
270 - 280	6,2	5,1	0,1	0,06	0,02	2,3

Analyse (Profil n° 13 - suite -)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
30 - 40	16,5	0,34	1,4	0,06	18,4	13,3	sat.
70 - 80	7,1	0,40	1,3	0,12	9,0	10,5	85
120 - 130	12,1	0,14	2,0	0,19	14,5	15,0	95
170 - 180	5,6	0,04	1,6	0,09	7,4	10,2	73
210 - 220	5,5	0,04	1,6	0,09	7,3	9,4	78
270 - 280	3,0	0,04	0,65	0,06	3,8	6,5	58

Prof. cm	Fe %		
	FT	FL	FL/FT %
30 - 40	2,06	1,56	75
70 - 80	2,40	1,39	57
120 - 130	2,28	1,56	68
170 - 180	2,99	1,39	46
210 - 220	2,23	1,17	52
270 - 280	2,56	0,97	33

Profil n° 14 (23/7/71/1)

Localisation : 31 - Toulouse ; X = 1°24' ; Y = 43°34' ; h = 142m

Site géomorphologique : Basse plaine de la Garonne, rive gauche, plan.

Exploitation biologique : Parcelle de culture abandonnée ; secteur de carrière à Graminées, Malvacées, Polygonacées.

Classification : Sol brun lessivé.

DESCRIPTION

0 - 20 cm Ap : Brun sombre (10 YR 4/3). Limoneux à limono-argilo-sableux. Structure nuciforme à finement polyédrique. Racines, galeries d'Annelidés. Graviers et galets (dont certains brisés) TRA : 5 à 10 %. Limite inférieure graduelle, ondulée.

20 - 40 cm A_2 : Brun-gris (2,5 Y 6/2). Limono-sablo-argileux. Structure à tendance massive, à débit polyédrique angulaire. Graviers et galets TRA : 5 à 15 %, longueur moyenne des galets 3 à 5 cm. Quelques racines. Limite inférieure graduelle et ondulée.

40 - 65 cm B_1t : Brun (7,5 YR 6/4 à 7,5 Y 5/4). Limono-argileux. Structure polyédrique. Graviers et galets plus nombreux, TRA : 10 à 20 %, longueur moyenne des galets 4 à 7 cm. Revêtements argileux plus sombres (7 YR 5/4 à 7 YR 4/4) autour des agrégats ou des galets.

.../...

Limite inférieure assez franche, ondulée.

65 - 120cm : Partie supérieure de la nappe de galets, encore relativement peu caillouteuse, TRA : 30 à 50 %. Longueur moyenne des galets 10 à 15 cm, nombreux gravillons, entre les galets, englobés dans une matrice cohérente ou en petites lentilles. Matrice sablo-argileuse de couleur brun-rouge (5 YR 4/4). Structure assez massive. Revêtements argileux autour des galets qui sont patinés en brun-rouge. Limite inférieure généralement graduelle, localement plus franche par l'intermédiaire d'une ligne de galets horizontaux.

II B_2t

120 - 170cm : Nappe de galets, TRA : 60 à 80 %, taille moyenne 10 à 15 cm, nombreux graviers interstitiels. Cristallins, quartzites, quartz, schistes (plus rares et plus petits) quelques rares lydiennes. Les galets sont souvent patinés en ocre-rouille léger ; comme dans les horizons supérieurs, un certain nombre de cristallins sont fragilisés, fissurés, parfois en voie d'arénisation grossière avec rubéfaction au niveau des fissures. Matrice sableuse, brun-jaune (10 YR 4/4) à brun-rouge (5 YR 4/4), structure particulaire. Limite inférieure très graduelle et ondulée, par passage progressif au faciès de l'horizon II C.

II CB

.../...

170 - 300cm : Nappe de galets, TRA : 60 à 80 %. Galets
II C frais et blancs, cristallins altérés peu fréquents. Matrice sableuse brun-jaune clair (10 YR 6/4), structure particulaire, cet horizon s'éboule très facilement.

Analyse (Profil n° 14)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de [illegible]				
		SG	SF	STF	L	A
30 - 40	43,2	23,3	18,5	18,1	20,9	17,5
[illegible] - 65	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
90 - 100	84,3	53,6	8,5	4,1	8,9	23,2
130 - 140	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
270 - 290	79,9	86,0	3,4	1,8	4,1	4,4

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
30 - 40	5.3	4,4	1.1	0,65	0,08	7,6
55 - 65	5,6	4,6	0,7	0,41	0,08	5,2
90 - 100	5,9	4,9	0,4	0,26	0,06	4,4
130 - 140	6,7	5,6	0,2	0,15	0,03	5,0
270 - 290	6,5	5,5	0,1	0,06	0,02	2,7

Analyse (Profil n° 14 - suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
30 - 40	3,2	0,50	0,50	0,06	4,3	8,9	48
55 - 65	5,8	0,25	1,1	0,06	7,3	12,2	59
90 - 100	7,7	0,17	1,5	0,09	9,6	13,3	72
130 - 140	3,5	0,04	0,5	0,03	4,1	7,0	59
270 - 290	3,0	0,04	0,5	0,03	3,6	5,3	68

Prof. cm	Fe %		
	FT	FL	FL/FT %
30 - 40	2,23	1,06	47
55 - 65	3,18	1,50	47
90 - 100	3,35	1,67	49
130 - 140	3,20	0,71	22
270 - 290	3,56	0,67	18

Profil n° 15 (28/3/71/2)

Localisation : 31 - St-Jory ; X = 1°22' ; Y = 43°45' ; h = 115m

Site géomorphologique : Basse plaine de la Garonne, rive droite, plan.

Exploitation biologique : Bordure de plantation de Peupliers, Graminées adventices.

Classification : Sol brun lessivé.

DESCRIPTION

0 - 20 cm Ap : Brun foncé. Limoneux à limono-sableux. Structure polyédrique en petites mottes, localement granulaire. Racines. Limite inférieure assez franche, ondulée.

20 - 40 cm A_2 : Brun clair. Limoneux. Structure légèrement massive à tendance polyédrique. Poreux. Quelques racines. Limite inférieure graduelle et ondulée.

40 - 60cm B_1t : Brun à marron. Limono-argileux. Structure à tendance polyédrique déjà nette. Quelques revêtements plus sombres autour des polyèdres. Petits pores et canalicules nombreux. Rares graviers ou galets. Limite inférieure graduelle et ondulée.

60 - 90 cm B_2t : Marron à marron clair. Limono-argileux. Structure d'ensemble massive mais à débit polyédrique assez net. Revêtements argileux plus sombres autour de polyèdres et le long

.../...

de quelques fissures verticales ou autour des graviers ou galets (rares : TRA : 2 %). Petits pores et canalicules nombreux. Limite inférieure graduelle, ondulée.

90 - 160cm EC puis C : Brun à marron. Limono-argileux à limono-sableux. Structure massive à légère tendance polyédrique, quelques fissures verticales. Revêtements argileux de plus en plus rares avec la profondeur, signalés par leur couleur plus sombre autour des agrégats ou le long des fissures, pénétrant localement jusqu'à 150 cm. Limite inférieure franche et ondulée par l'intermédiaire d'une zone plus caillouteuse (TRA : 10 %).

160 - 210cm II C : Nappe de galets, TRA : 60 à 80 %, taille moyenne 4 à 7 cm, les éléments de taille supérieure à 10 cm représentant 10 % du TRA. Quartz, cristallins, quartzites, quelques schistes. Matrice brune, sableuse, à structure particulaire, quelques faces de pression très nettes au sommet de l'horizon.

Analyse (Profil n° 15)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 30	0	10,9	27,1	22,9	13,3	22,8
70 - 80	0	8,6	22,0	21,8	15,4	31,1
90 - 100	0	10,4	26,8	20,0	14,3	27,3
130 - 150	0	12,7	29,6	22,0	11,8	23,3

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
20 - 30	5,9	4,5	0,7	0,45	0,06	7,3
70 - 80	5,9	4,4	0,6	0,34	0,06	5,6
90 - 100	6,5	4,6	0,4	0,23	0,04	4,7
130 - 150	6,6	4,6	0,2	0,15	0,03	4,5

Analyse (Profil n° 15 - suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
70 - 80	10,6	0,19	1,9	0,12	12,9	17,7	72
90 - 100	10,7	0,17	2,0	0,16	13,1	17,2	76
130 - 150	9,3	0,14	1,6	0,16	11,2	15,1	74

Profil n° 16 (20/8/72/3)

Localisation : 31 - Pins-Justarret ; X = 1°23' ; Y = 43°28' ;
h = 162m

Site géomorphologique : Basse plaine de l'Ariège, rive gauche, légère pente 1 % vers le nord-est.

Exploitation biologique : Parcelle de Luzerne lupuline

Classification : Sol brun lessivé.

DESCRIPTION

0 - 15 cm Ap : Brun-gris sombre. Limono-sableux. Structure finement polyédrique à grumeleuse. Chevelu racinaires, éléments coprogènes. Graviers et galets TRA : 5 à 10 %. Limite inférieure franche, ondulée.

15 - 40 cm A_2 : Brun-gris à brun clair (10 YR 5/3 à 10 YR 6/3). Limoneux à limono-sableux. Structure massive, à fin feuilletage lamellaire vertical, quelques fentes verticales de 1 mm d'épaisseur. Graviers et galets TRA : 10 à 20 %, taille moyenne des galets 3 à 4 cm. Petits pores et canalicules nombreux, augmentant avec la profondeur. Limite inférieure graduelle, ondulée.

40 - 60 cm A_2B : Brun vif (7,5 YR 5/6). Limoneux à limono-argilo-sableux. Structure légèrement massive à tendance polyédrique. Caractères généraux proches de l'horizon précédent. Limite inférieure franche et ondulée.

.../...

60 - 115cm : Nappe de galets, TRA : 80 à 90 %,

II Bt

cristallins, quartz, quartzites plus rares, quelques schistes siliceux, longueur moyenne 5 à 8 cm, les galets de taille supérieure à 10 cm représentant 10 % du TRA. 10 à 20 % des cristallins fragilisés, avec exsudation de fer dans les fissures (5 YR 6/8 à 7,5 YR 6/6). Matrice très graveleuse marron (7,5 YR 4/4), argilo-sableuse, revêtements argileux autour des galets, lesquels sont patinés, structure massive, horizon cohérent. Limite inférieure graduelle et ondulée avec un horizon un peu moins argileux, un peu moins cohérent, qui apparaît en profondeur.

Analyse (Profil n° 16)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 25	10,1	14,6	35,4	21,3	12,4	13,6
50 - 60	8,6	12,6	35,9	20,2	13,5	16,5
95 - 105	77,9	24,5	22,9	12,6	10,8	28,1

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique%			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
15 - 25	6,3	5,3	0,27	0,13	1,6	0,93	0,10	8,7
50 - 60	7,1	5,7	0,21	0,08	0,7	0,40	0,06	6,7
95 - 105	7,2	5,7	0,16	0,06	0,6	0,35	0,06	5,4

.../...

Analyse (Profil n° 16 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
15 - 25	6,1	0,21	0,90	0,06	7,2	9,5	75
50 - 60	7,9	0,12	0,9	0,06	8,9	10,8	82
95 - 105	13,1	0,21	1,5	0,16	15,1	17,0	88

Profil n° 17 (29/2/72/1)

Localisation : 31 - Lespinasse ; X = 1°23' ; Y = 43°42' ;
h = 122 m

Site géomorphologique : Palier supérieur de la basse plaine de la Garonne, rive droite, légère pente 0,5 à 1 % vers l'ouest.

Exploitation biologique : Broussailles à tapis de Graminées, zone de carrières.

Classification : Sol brun lessivé à ségrégation du calcaire en profondeur.

DESCRIPTION

0 - 30 cm Ap : Brun sombre. Limono-sableux à sablo-limoneux. Non calcaire. Structure granulaire à nuciforme. Racines abondantes. Eléments coprogènes. Quelques rares graviers ou galets. Quelques galeries zoogènes, petits pores et canalicules nombreux. Limite inférieure graduelle, ondulée.

30 - 50 cm A_2 : Brun-jaune (10 YR 5/4). Limono-sableux à limoneux. Structure massive, quelques petites fentes verticales, nombreux pores et canalicules très fins. Quelques racines. Rares graviers ou petits galets. Limite inférieure graduelle, ondulée.

50 - 70cm B_1t : Brun à brun-marron (7,5 YR 5/4 à 7,5 YR 4/4) en marbrures légères verticales. Sablo-

.../...

argileux. Structure massive à débit polyédrique angulaire et plat, fissures de 1 mm de large se poursuivant en profondeur, quelques revêtements argileux marron autour des agrégats et tapissant les fissures, plus nets en profondeur. Quelques racines et radicelles. Limite inférieure graduelle et légèrement ondulée.

70 - 95 cm : Marron à brun (7,5 YR 4/4 à 10 YR 4/3)
B_2t en marbrures verticales. Argilo-sableux, horizon cohérent, fissures, petits pores et canalicules nombreux. Revêtements argileux marron assez fréquents par place. Rares graviers ou petits galets. Limite inférieure très graduelle et ondulée.

95 - 120cm : Brun-marron à brun (7,5 Y 4/4 à 7,5 YR
B_3t et BC 5/6), avec quelques marbrures verticales. Argilo-sableux devenant progressivement plus sableux avec la profondeur. Structure de plus en plus massive vers le bas. Quelques enduits argileux plus sombres le long des fissures assez rares qui prolongent celles de B_2t. Pores et canalicules fins abondants. Rares graviers. Limite inférieure franche et ondulée.

120 - 135cm : Jaunâtre. Sablo-limoneux. Calcaire. Taches de calcaire pulvérulent de couleur crème pseudomycélium abondant, tubulures creuses
C_{1Ca} à $C_{1Ca\,g}$ rhizomorphes de 1 à 5 cm de longueur, 2mm

.../...

à 5 mm de diamètre, quelques poupées calcaires dures dispersées à surface pulvérulente. Localement, bigarrures ocrées et claires. Limite inférieure franche, assez rectiligne.

135 - 137cm : Blanc-crème. Sableux. Lit de calcaire pulvérulent disparaissant latéralement. Limite inférieure franche et assez rectiligne.
C_2 Ca

137 - 152 cm : Jaune-crème. Sablo-limoneux. Calcaire. Taches, pseudomycélium, tubulures ; poupées assez fréquentes, certaines de 5 cm de long, 2 à 3 cm de diamètre. Limite inférieure franche, rectiligne.
C_3 Ca

152 - 154cm : Lit de calcaire pulvérulent. Limite inférieure franche, légèrement ondulée.
C_4 Ca

154 - 173cm : Jaunâtre. Sableux. Non calcaire mais avec quelques minces lits calcaires à poupées. Léger bariolage local en profondeur. Limite inférieure graduelle et ondulée.
C_5 Ca à
C_5 Ca g

173 - 180cm : Jaunâtre. Sableux. Peu à pas calcaire. Limite inférieure assez franche et rectiligne.
C_6

180 - 185cm : Jaunâtre et légèrement bariolé par place. Sablo-limoneux, à limono-sableux. Généralement calcaire. Quelques graviers et galets. Limite inférieure franche et très ondulée.
C_7 Ca à
C_7 Ca g

.../...

185 - 225cm : Nappe de galets, TRA : 60 à 70 %, matrice sableuse calcaire, galets encroutés de calcaire, localement cimentation assez nette, quelques brefs lits de calcaire poudreux dans la matrice.

II C_{Ca}

Analyse (Profil n° 17)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
30 - 45	0	7,2	28,7	28,7	17,1	17,0
50 - 60	0	5,3	25,7	26,3	17,4	24,1
75 - 85	0,8	3,2	24,2	22,7	16,3	32,3
100 - 110	0,1	3,8	25,3	27,1	16,8	27,4
120 - 130	0	15,3	34,8	22,7	17,0	9,1

Prof.	Calcaire%		pH		P_2O_5 ‰		Matière organique%			
cm	T	A	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
30 - 45	0	0	6,2	5,1	0,04	0,02	0,8	0,50	0,07	6,9
50 - 60	0	0	6,3	5,0	0,04	0,01	0,5	0,34	0,05	6,0
75 - 85	0	0	6,1	5,0	0,11	0,01	0,3	0,22	0,04	4,8
120 - 130	16,4	3,4	8,0	7,0	0,00	0,01	0,2	0,16	0,02	6,4

.../...

Analyse (Profil n° 17 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT %
30 - 45	7,2	0,08	1,2	0,12	8,6	11,5	74	2,40	0,67	27
50 - 60	8,9	0,08	1,6	0,16	10,8	14,3	75	2,23	0,89	39
75 - 85	16,1	0,12	2,1	0,76	19,1	18,5	sat.	2,95	1,17	39
120 - 130	40,7	0,02	0,8	0,44	41,9	13,0	sat.	1,95	0,78	40

Profil n° 18 (21/3/72/1.

Localisation : 31 - Beauzelle ; X = 1°23' ; Y = 42°39' ; h = 13

Site géomorphologique : Palier légèrement inscrit sous la basse terrasse rive gauche de la Garonne, pente 1 % vers l'est.

Exploitation biologique : Graminées adventices, secteur de lotissement immobilier.

Classification : Sol brun lessivé à ségrégation du calcaire en profondeur.

DESCRIPTION

0 - 15 cm A_p : Brun-gris sombre (10 YR 4/2). Limoneux à limono-sableux. Structure motteuse assez grossière, horizon tassé. Racines et radicelles nombreuses. Déjections et galeries d'Annélidés. Quelques graviers ou galets, certains cassés. Limite inférieure graduelle ondulée.

15 - 35 cm A_2 : Brun-gris (10 YR 5/2). Limono-sablo-argileux. Structure légèrement massive à débit polyédrique large, à légère tendance schisteuse verticale. Trous, galeries, déjections zoogènes. Quelques racines. Nombreux petits pores de 0,1 à 0,5 mm de diamètre. Quelques graviers. Limite inférieure graduelle et ondulée.

35 - 65 cm B_1t : Brun(10 YR 5/3) avec panachage vertical brun-marron à marron (7,5 YR 4/4). Argilo-limoneux à argilo-sableux. Structure assez

.../...

massive à tendance polyédrique. Etroites langues verticales marron s'amorçant dès 35 - 40cm, se renforçant plus bas. Revêtements argileux assez nets dans ces langues, autour des polyèdres structuraux et des quelques galets ou graviers. Traces d'activité biologique (galeries, amas coprogènes). Limite inférieure très graduelle, ondulée.

65 - 100cm : Brun (10 YR 5/3) avec abondant panachage vertical marron (7,5 YR 4/4) représentant 50 à 60 % de l'ensemble de l'horizon (en surface couverte). Argilo-limoneux à argilo-sableux. Structure légèrement massive à nette tendance polyédrique. Revêtements argileux nets, amorce de faces luisantes autour de certains polyèdres. La structure des zones marron est généralement plus fine et mieux construite que celle des zones plus claires. Quelques graviers et galets TRA : 1 à 5 % taille moyenne 4 cm. Limite inférieure graduelle et ondulée.

B_2t

100 - 140cm : Brun (10 YR 5/4 à 10 YR 4/3), les zones à tendance brun-marron diminuent avec la profondeur. Argilo-limoneux à argilo-sableux devenant limono-sableux avec la profondeur. Structure devenant de plus en plus massive vers le bas. Quelques langues étroites plus sombres descendent jusqu'au bas de l'horizon. Quelques graviers et galets, TRA : 5 %, taille moyenne des galets : 4 cm. Limite inférieure franche, ondulée et très irrégulière d'un point à un autre du profil.

B_3t et BC

.../...

140 - 200cm : Jaune-brun. Limono-sableux. Calcaire. Pseudomycélium, taches, quelques tubulures rhizomorphes et granules calcaires. Base de l'horizon enrichie en graviers et galets, TRA : 10 à 20 %, plus ou moins encroutés de calcaire. Limite inférieure franche, ondulée et irrégulière.

C_{Ca}

200 - 260cm : Nappe de galets, galets encroutés de calcaire (faces inférieures surtout), TRA : 70 à 80 %. Matrice sableuse d'abord calcaire, puis non calcaire en profondeur, couleur brun-rouille. Localement, revêtements noirs autour des galets.

II

II $_{Ca}$g

Analyse (Profil n° 18)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
25 - 35	0	4,0	22,2	31,4	19,8	21,1
75 - 85	0	2,8	19,7	24,2	18,6	33,4
160 - 180	0	16,2	20,1	19,3	16,5	26,4

Prof. cm	Calcaire%		pH		Matière organique %			
	T	A	eau	KCl	MO	C	N	C/N
25 - 35	0	0	6,7	5,6	1,0	0,61	0,09	6,8
75 - 85	0	0	6,7	5,4	0,5	0,29	0,06	4,3
160 - 180	5,8	0	8,0	6,9	0,2	0,13	0,04	3,3

.../...

Analyse (Profil n° 18 -suite-)

Prof; cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT %
25 - 35	8,2	0,32	1,7	0,06	10,3	12,3	83	2,40	0,83	35
75 - 85	12,[illegible]	[illegible]	[illegible],5	[illegible]	1[illegible]	[illegible]	9[illegible]	3,12	1,28	41
160 - 180	41,0	0,19	1,5	0,22	42,9	15,1	sat.	2,[illegible]	1,[illegible]	[illegible]

Profil n° 19 (16/11/72/2)

Localisation : 31 - Toulouse (Reynerie) ; X = 1°24' ; Y = 43°34' ; h = 145m

Site géomorphologique : Pied du talus interne de la basse terrasse de la Garonne, rive gauche. Pente au pied même du talus, 2 à 3 % vers l'est, devenant très faible 20 à 30 mètres plus à l'est.

Exploitation biologique : Ancien bois de Chênes pubescents, aujourd'hui aménagé (étang de la Reynerie). Bordure de Graminées sauvages et Malvacées.

Classification : Sol brun lessivé à ségrégation du calcaire en profondeur.

DESCRIPTION

0 - 20 cm Ap	:	Brun-gris (10 YR 4/2). Limono-sableux. Structure très variable, motteuse et massive, nuciforme à granulaire par place, horizon très tassé localement. Racines et radicelles assez nombreuses, quelques amas coprogènes. Quelques graviers et galets, TRA : 5 à 10 %, quelques galets cassés. Quelques mètres plus loin, vers l'est, cet horizon s'amincit quelque peu (15cm) et devient plus sombre (10 YR 3/2) et plus grumeleux, en rapport avec le couvert de chênes pubescents. Limite inférieure assez graduelle mais localement plus franche, ondulée.
20 - 60 cm A_2	:	Brun jaunâtre clair (10 YR 5/3 à 10 YR 5/4). Sablo-argileux à sablo-limono-argileux. Structure massive à légère tendance polyé-

. . . .

drique plate. Quelques minces fentes verticales exploitées par les racines. Nombreux petits pores. Quelques galets (longueur moyenne 2 à 4 cm) et graviers atteignant localement un TRA de 10 %. A quelques mètres de là, sous l'horizon Ap - A_1 sombre, cet horizon A_2 apparaît beaucoup plus clair (10 YR [illegible] à 10 YR 6/2).
Limite inférieure graduelle, ondulée.

60 - 110 cm : Brun à marron (10 YR 4/4 à 7,5 YR 4/4).
B_1t Argilo-sableux. Structure assez massive à nette tendance polyédrique angulaire. Petits pores et canalicules nombreux. Quelques minces fentes verticales. Revêtements argileux autour des polyèdres, surtout nets dans les trainées verticales un peu plus sombres, aspect localement vernissé des faces polyédriques. Quelques rares petits galets au sommet de l'horizon, parfois en ligne dans la masse, quelques petits graviers et gravillons, parfois en poches. Limite inférieure graduelle et ondulée, peu distincte.

110 - 160cm : Brun à marron, devenant progressivement plus homogène avec la profondeur (disparition des trainées verticales plus sombres).
$B_{2}t$ à BC Argilo-sableux devenant peu à peu sablo-argileux à sablo-limono-argileux. Structure à tendance polyédrique au sommet, devenant massive en profondeur. Nombreux petits pores et canalicules, de 0,2 à 1 mm de diamètre. Revêtements argileux au sommet. Quelques graviers et galets parfois en

.../...

ligne, petits gravillons par place. Limite inférieure généralement assez franche, par apparition du faciès calcaire avec ou sans éléments caillouteux, parfois plus progressive, modérément ondulée.

160 - 275cm : C_{Ca} Jaunâtre (2,5 Y 6/4). Sableux (sables fins) à sablo-limoneux. Structure d'ensemble massive, aspect lité nettement apparent par endroit. Très calcaire, surtout dans la partie supérieure. Lits peu épais (de 1 à quelques cm d'épaisseur) de calcaire poudreux, ou plus ou moins indurés et représentant alors une ébauche de croûte calcaire à tendance feuilletée. Pseudomycelium ou amas poudreux fréquents dans l'ensemble de l'horizon. Quelques poupées calcaires, longues de 2 à 5 cm, diamètre 1 à 2 cm, quelques nodules semi-farineux ou durs, souvent pourris en surface. Par endroit, quelques lits (de l'ordre de 1 cm d'épaisseur) de sable grossier, plus foncés, interrompent la série. Rares graviers ou galets (par endroit, dans les lits grossiers ou de calcaire pulvérulent ou concrétionné), sauf à la base, dans les 25 premiers cm, où ils sont plus nombreux. Les 25 premiers cm sont de texture plus fine, limoneux, à pseudomycelium nombreux et forment un milieu frais, colonisé par les mousses sur la face du profil, présentant par endroit une marmorisation à taches rouille et plages claires grisées (C_{Cag}) à quelques mètres du profil décrit. Limite inférieure franche, ondulée.

.../...

275 - 400cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA des galets et graviers : 80 à 90 %.

II C_{Ca}

Matrice sableuse claire, calcaire le plus souvent, face inférieure des galets généralement encroûtée de calcaire. A quelques mètres du profil, faciès de consolidation des galets par le calcaire, conduisant localement à de véritables éléments de poudingues. Par endroit et en profondeur surtout, la matrice sableuse est ocre-rouille avec des bandes horizontales de dégradation grisâtres, larges de quelques cm à une dizaine de cm. Dans ce cas, les galets sont alors souvent patinés, de rouille ou noir très sombre (II $C_{Ca}g$) ou (II C_g). La nappe phréatique est à 420 cm.

Analyse (Profil n° 19)

Prof. cm	EG	GRANULOMETRIE % — % de TF: SG	SF	STF	L	A
30 - 40	0	20,6	30,0	15,6	15,2	16,9
70 - 90	0	16,9	31,5	12,4	13,2	26,2
140 - 160	0	27,0	35,0	10,1	9,0	17,3
170 - 190	0	13,2	48,2	17,2	9,8	8,8
230 - 240	0	9,3	48,8	21,8	9,9	9,6

Prof. cm	Calcaire % T	Calcaire % A	pH eau	pH KCl	P_2O_5 ‰ citrique	P_2O_5 ‰ Joret	Matière organique % MO	C	N	C/N
30 - 40	0	0	6,3	5,3	0,09	0,02	0,7	0,41	0,05	7,3
70 - 90	0	0	6,7	5,3	0,21	0,05	0,4	0,26	0,04	5,9
140 - 160	0	0	7,0	5,3	0,35	0,03	0,3	0,22	0,03	6,5
170 - 190	20,6	3,1	7,8	7,1	0	0,03	0,2	0,12	0,01	7,8
230 - 240	14,7	2,2	7,7	7,2	0	0,04	0,2	0,13	0,02	5,2

.../...

Analyse (Profil n° 19 -suite-)

Prof.	Complexe Absorbant meq %						
cm	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
30 - 40	4,7	0,14	0,95	0,09	5,9	8,5	69
70 - 90	9,1	0,17	2,0	0,12	11,3	13,2	85
140 - 160	6,9	0,12	1,8	0,09	8,9	9,4	94
170 - 190	37,4	0,08	1,0	0,12	38,6	8,9	sat.
230 - 240	36,9	0,08	0,85	0,09	38,0	9,4	sat.

IV.- SOLS DU TERREFORT MOLASSIQUE.

- A profil textural différencié sur loess
  Profil n° 20

- A profil textural différencié sur aplanissements du Terrefort
  Profils n° 21 - 22

- A profil textural faiblement ou non différencié, sur versants longs du Terrefort
  Profils n° 23 - 24

Profil n° 20 (4/7/70/3)

Localisation : 31 - Toulouse ; X = 1°27' ; Y = 43°34' ; h = 165m

Site géomorphologique : Versant est du coteau de Pech-David, au-dessus de la vallée de l'Hers mort. Pente de l'affleurement loessique 5 % vers l'est.

Exploitation biologique : Prairie naturelle, parcelle résiduelle (aménagement du versant destiné au Centre Hospitalo-universitaire de Rangueil)

Classification : Sol brun lessivé (à réserves calciques, à ségrégation du calcaire en profondeur).

DESCRIPTION

0 - 25 cm
Ap
: Brun foncé (10 YR 4/2). Sablo-limoneux à limono-sableux. Structure grenue. Racines et radicelles nombreuses, galeries d'Annélidés. Quelques graviers et gravillons. Limite inférieure assez franche, ondulée.

25 - 70 cm
A_2 puis
$A_2 B_1 t$
: Brun clair (10 YR 6/3) légèrement plus foncé en profondeur. Sablo-limoneux à limoneux-sableux. Structure massive à tendance légèrement polyédrique en profondeur. Racines et radicelles dans la partie supérieure, plus rare vers le bas. Petits pores et canalicules, diamètre de 0,3 à 1 mm, très abondants. Limite inférieure graduelle, ondulée.

... ...

70 - 120cm : Brun (10 YR 5/3) avec zones verticales plus foncées (10 YR 5/3 à 10 YR 5/4) plus nettes avec la profondeur. Limono-sableux devenant plus argileux vers le bas. Structure massive à tendance polyédrique de plus en plus nette avec la profondeur. Quelques revêtements argileux autour des agrégats polyédriques, particulièrement dans les zones verticales plus foncées. Quelques rares graviers et gravillons. Limite inférieure graduelle et ondulée.

B_1t

120 - 170cm : Brun (10 YR 5/4 à 10 YR 4/4), avec étroites zones verticales plus sombres (7,5 YR 5/4 à 7,5 YR 4/4) représentant par endroit 40 à 50 % de la surface. Argilo-sableux. Structure polyédrique à tendance prismatique. Revêtements argileux assez nets autour des agrégats, surtout dans les zones plus sombres, visibles également à l'intérieur des canalicules ou des pores qui sont très nombreux. Rares gravillons. Limite inférieure graduelle, par diminution du caractère argileux et polyédrique, ondulée.

B_2t

170 - 200cm : Brun-jaune (10 YR 7/6). Limono-sableux à sablo-limoneux. Non calcaire. Structure massive. Limite inférieure franche, légèrement ondulée.

BC

200 - 220cm : Formation loessique, couleur de fond brun-jaune clair (2,5 Y 6/4). Structure massive.

C_{Ca}

.../...

Très calcaire. Ségrégation du calcaire en pseudomycélium (très général), amas pulvérulents de taille variable, tubulures rhizomorphes de diamètre et de longueur variables, quelques poupées dures de 2 à 5 cm de long, quelques granules ou nodules de 1 à 2cm de diamètre. Rares graviers ou gravillons de quartz. Limite inférieure très graduelle.

plus de 220cm: Formation loessique massive, calcaire, se
C débitant en gros blocs réguliers faciès proche de l'horizon précédent.

Analyse (Profil n° 20)

Prof. cm	EG	GRANULOMETRIE %				
		% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
30 - 40	0	1,7	48,0	18,5	10,7	19,7
70 - 80	0	1,7	47,7	17,0	9,9	21,9
140 - 150	0	1,8	48,9	13,8	9,5	25,5
180 - 190	0	1,9	52,2	13,3	9,3	22,7
250 - 260	0	3,8	61,6	14,0	7,8	12,4

Prof. cm	Calcaire %		pH		Matière organique %			
	T	A	eau	KCl	MO	C	N	C/N
30 - ,40	0,7	0	8,3	7,2	0,6	0,39	0,04	9,8
70 - 80	0,2	0	8,0	7,0	0,6	0,39	0,06	6,5
140 - 150	0,2	0	7,9	6,9	0,5	0,34	0,04	7,1
180 - 190	0,2	0	8,2	7,0	0,3	0,18	0,03	5,3
200 - 210	19,9	3,4	8,7	7,6	0,2	0,17	0,03	5,7
250 - 260	12,7	2,0	8,7	7,7	0,3	0,19	0,03	6,3

.../..

Analyse (Profil n° 20 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT %
30 - 40	19,3	0,13	0,60	0,07	20,3	9,9	sat.	1,19	0,56	47
140 - 150	16,8	0,21	0,40	0,07	17,4	13,5	sat.	1,54	0,76	49
180 - 190	14,3	0,19	0,35	0,07	14,9	12,1	sat.	1,47	0,78	53
250 - 260	38,0	0,09	0,35	0,07	38,4	6,7	sat.	0,88	0,32	36

Profil n° 21 (4/4/69/3)

Localisation : 31 - Vieille-Toulouse ; X = 1°27' ; Y = 43°31' ;
h = 275 m

Site géomorphologique : Aplanissement supérieur du Terrefort, pente 1 à 3 % vers le sud-ouest.

Exploitation biologique : Ancienne vigne et bordure enherbée à Graminées et Légumineuses.

Classification : Sol brun lessivé à réserves calciques, à ségrégation du calcaire en profondeur.

DESCRIPTION

0 - 20 cm
Ap
: Brun (10 YR 4/3). Limono-sableux. Structure motteuse, grenue en surface, localement nuciforme. Trace locale de calcaire. Canaux et déjections zoogènes. Racines abondantes en surface, moins nombreuses en profondeur. Limite inférieure graduelle, ondulée.

20 - 50 cm
A_2 puis A_2B_1c
: Brun (10 YR 4/4 à 10 YR 5/4). Limono-sableux devenant plus argileux en profondeur. Structure massive devenant polyédrique en profondeur. Fentes verticales et horizontales, plus nettes vers le bas. Quelques radicelles et amas coprogènes. Assez nombreux petits pores et canalicules de 0,2 à 1 mm de diamètre. Localement, trace de calcaire (petits grains de calcite dure). Limite inférieure très graduelle, ondulée.

.../...

50 - 80 cm : Brun-marron (7,5 YR 4/4). Argilo-limoneux à argilo-limono-sableux. Structure polyédrique forte, angulaire, à nette tendance prismatico-cubique. Fentes verticales et horizontales. Revêtements argileux autour des polyèdres, aspect local de faces lisses. Traces locales de calcaire. Petits pores et canalicules nets et abondants, avec revêtements argileux apparents et plus sombres sur les parois des canalicules. Limite inférieure graduelle, ondulée.

B_1t

80 - 95 cm : Brun-marron (7,5 YR 4/4) devenant plus clair en profondeur (10 YR 4/4). Argilo-limoneux devenant limono-sableux à limono-argilo-sableux vers le bas. Apparition, en profondeur, du faciès molassique bigarré à zones claires (10 YR 7/2). Structure polyédrique devenant massive en profondeur. Revêtements argileux et faces lisses moins nettes. Pores et canalicules nombreux. Traces locales de calcaire, beaucoup plus fréquentes au contact de l'horizon suivant. Limite inférieure franche, ondulée.

B_2t et BC

95 - 110cm : Horizon d'accumulation calcaire, crême (5 Y 6/3 à 8/3), très calcaire, quelques concrétions dures (diamètre 1 à 3 cm), amas locaux de carbonate poudreux, rares poupées calcaires dures et creuses, pourries en surface, localement éléments de croûte légèrement feuilletée, disloqués et pourris. Limite inférieure graduelle, ondulée.

C_{Ca}

.../...

110 - 180cm : C	Molasse stampienne bigarrée, à strates, lits ou plages gris-bleu et brun-ocre ou orange, à minces lits sub-horizontaux de calcaire pulvérulent (épaisseur : quelques mm à 1 ou 2 cm).

Analyse (Profil n° 21)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - ,20	0	20,0	22,4	14,0	16,8	23,3
35 - 45	0	14,0	19,7	15,5	19,6	29,3
70 - 80	0	7,8	13,6	12,7	23,0	41,4
100 - 110	8,4	5,6	23,8	17,8	28,7	23,6
140 - 150	0	10,1	25,6	13,2	27,9	22,2

Prof.	Calcaire %		pH		Matière organique %			
cm	T	A	eau	KCl	MO	C	N	C/N
10 - 20	2,7	0	8,3	7,2	0,7	0,45	0,08	5,6
35 - 45	1,0	0	8,4	7,1	0,9	0,54	0,05	9,5
70 - 80	0,8	0	8,3	7,0	0,6	0,39	0,05	7,5
100 - 110	16,9	4,6	8,4	7,2	0,4	0,24	0,03	6,2
140 - 150	12,1	2,9	8,4	7,3				

.../...

Analyse (Profil n° 21 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT %
10 - 20	35,4	0,21	1,1	0,07	36,7	14,5	sat.	2,24	1,52	67
35 - 45	26,4	0,21	1,3	0,07	27,9	15,4	sat.	2,36	1,45	61
[illegible]0 - 80	31,1	0,32	1,3	0,13	32,8	17,7	sat.	3,18	1,96	61
100 - 110	42,9	0,28	1,2	0,13	44,5	19,9	sat.	2,93	1,87	63

Profil n° 22 (12/5/69/1)

Localisation : 31 - Mons ; X = 1°34' ; Y = 43°36' ; h = 220m

Site géomorphologique : Aplanissement supérieur du Terrefort, pente 1 à 2 % vers le nord-est.

Exploitation biologique : Jachère sur blé ; bordure enherbée de Graminées et Légumineuses.

Classification : Sol brun lessivé.

DESCRIPTION

0 - 20cm Ap	:	Brun-gris clair (10 YR 5/2 à 6/2). Sablo-limoneux. Structure grenue à nuciforme. Racines et radicelles, quelques amas coprogènes. Nombreux micas blancs. Limite inférieure graduelle et ondulée.
20 - 45 cm A_2	:	Brun-jaune clair (10 YR 6/3). Sablo-limoneux à limono-sableux. Structure massive. Quelques racines et radicelles. Quelques petits pores et canalicules, 0,5 à 1mm de diamètre. Limite inférieure graduelle, ondulée.
45 - 80 cm B_1t	:	Brun jaunâtre (10 YR 5/4). Sablo-argileux. Structure massive à tendance polyédrique. Revêtements argileux luisants nets autour des éléments structuraux. Pores et canalicules présents. Quelques spots de couleur rouille à la base de l'horizon. Limite inférieure graduelle, ondulée.

. . . .

80 - 105 cm : B_2t et BC	Brun jaunâtre (10 YR 5/4). Sablo-argileux devenant de plus en plus sableux avec la profondeur. Structure massive; Le faciès bigarré de la molasse se manifeste de plus en plus clairement avec la profondeur : taches rouille et zones plus claires. Limite inférieure graduelle, indistincte.
105 - 180cm : C	Molasse stampienne sableuse, non calcaire, riche en muscovites, à taches ocre-rouille et plages gris-bleuâtres, massive.

Analyse (Profil n° 22)

Prof. cm	EG	GRANULOMETRIE % — % DE TF: SG	SF	STF	L	A
20 - 45	0	27,7	29,2	15,7	12,2	14,4
60 - 80	0	25,3	23,8	10,7	13,9	25,7
85 - 95	0	42,7	18,1	5,9	11,9	21,0
140 - 150	0	42,7	21,7	5,4	12,1	17,1

Prof.	Calcaire %		pH		Matière organique %			
cm	T	A	eau	KCl	MO	C	N	C/N
20 - 45	0	0	6,8	5,5	0,6	0,36	0,04	7,7
60 - 80	0	0	6,7	5,8	0,5	0,32	0,05	6,2
85 - 95	0	0	6,9	5,6	0,3	0,21	0,03	5,7
140 - 150	0	0	7,0	5,6	0,2	0,15	0,02	5,4

.../...

Analyse (Profil n° 22 -suite-)

Prof.	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
cm	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	$\frac{FL}{FT}$%
20 - 45	6,3	0,15	0,05	0,07	6,5	7,8	84	1,02	0,67	65
60 - 80	10,4	0,17	1,5	0,10	12,2	12,6	97	1,60	0,79	49
85 - 95	13,2	0,19	2,4	0,16	15,9	16,3	98	1,62	1,02	62
140 - 150	13,9	0,21	2,3	0,16	16,6	17,1	97	1,48	0,76	51

Profil n° 23 (7/11/70/2)

Localisation : 31 - Pechbusque ; X = 1°28' ; Y = 43°31'

h = 200 m

Site géomorphologique : Bas de versant long, pente 5 à 6 % vers le nord-est.

Exploitation biologique : Chaume de céréales, bordure de Graminées adventices.

Classification : Sol brun calcique.

DESCRIPTION

0 - 30 cm Ap	: Brun à brun-gris (10 YR 4/3 à 10 YR 4/2). Argileux à argilo-sableux. Structure nuciforme à grumeleuse. Nombreuses racines et radicelles. Légèrement calcaire dans la masse. Forte activité biologique. Quelques morceaux de briques. Limite inférieure assez franche, légèrement ondulée.
30 - 110 cm (B) et C	: Brun à brun-jaune (10 YR 4/4 à 2,5 YR 6/4). Argileux à argilo-limoneux. Structure polyédrique assez massive, horizon cohérent. Légèrement calcaire. Quelques racines et radicelles. Amas coprogènes, galeries d'Annélidés. Limite inférieure franche, nettement ondulée par endroit.

.../...

110 - 190 cm II C	: Loess, jaunâtre (2,5 Y 7/4). Limono-sableux à sablo-limoneux. Structure massive à particulaire (humide). Très calcaire. Pseudomycélium, amas de calcaire pulvérulent blanchâtre, tubulures rhizomorphes de quelques millimètres d'épaisseur et quelques cm de longueur. Quelques nodules (1 à 2 cm de diamètre) et débris de poupées creuses pourris.

Analyse (Profil n° 23)

Prof. cm	EG	GRANULOMETRIE % – % de TF: SG	SF	STF	L	A
10 – 20	0	3,2	19,5	27,3	16,2	31,3
40 – 50	0	0,9	18,5	26,4	16,4	36,8
70 – 80	0	0,4	16,7	26,0	16,9	38,7
130 – 140	0	7,2	32,3	31,0	22,9	6,3

Prof.	Calcaire %		pH		Matière organique %			
cm	T	A	eau	KCl	C	MO	N	C/N
10 – 20	0,8	0	7,7	6,8	0,88	1,5	0,13	6,8
40 – 50	0,3	0	7,1	0,6	0,36	0,6	0,07	5,0
70 – 80	0,7	0	8,0	0,5	0,5	0,30	0,06	4,4
130 – 140	28,3	6,3	8,0	0,2	0,2	0,13	0,02	4,8

.../...

Analyse (Profil n° 23 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
10 - 20	30,8	0,32	1,5	0,13	32,8	20,0	sat.
40 - 50	24,3	0,28	1,3	0,10	25,7	19,9	sat.
70 - 80	34,6	0,30	1,5	0,13	36,5	24,6	sat.
130 - 140	47,9	0,13	1,4	0,13	49,5	6,1	sat.

Profil n° 24 (1/5/69/3)

Localisation : 31 - Corronsac ; X = 1°29' ; Y = 43°28'
h = 240 m

Site géomorphologique : Versant long du Terrefort, pente 12 à 15 % vers le nord-est.

Exploitation biologique : Labour sur blé.

Classification : Sol brun calcaire.

DESCRIPTION

0 - 15 cm Ap	: Brun-jaune à brun foncé. Argilo-sableux. Structure grossièrement motteuse avec amas d'éléments structuraux construits, nuciformes à grumeleux. Calcaire. Amas coprogènes. Quelques débris de molasse calcaire, quelques concrétions calcaires dures mais pourries. Limite inférieure graduelle et ondulée.
15 - 65 cm (B)C	: Brun-jaune (couleur de fond) avec éléments crême et jaune clairs. Argilo-sableux avec poches plus argileuses ou plus sableuses. Structure massive, localement à tendance polyédrique. Calcaire. Eléments calcaires de la molasse TRA : 10 à 30 % (mottes, débris de grés calcaire), quelques concrétions et rares poupées calcaires en poches, ou en ligne au contact de l'horizon suivant.

.../...

Limite inférieure franche, très ondulée.

65 - 80 cm II C	: Molasse stampienne argilo-calcaire, bigarrée (plages gris-bleu et ocre-rouille) avec quelques veines (1 cm à 2 cm d'épaisseur) de calcaire pulvérulent.

Analyse (Profil n° 24)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
0 - 15	1,9	19,2	28,4	15,0	15,5	19,3
30 - 40	4,3	8,4	33,2	19,1	12,6	21,4
65 - 75	0	9,3	21,4	12,2	34,8	21,0

Prof. cm	Calcaire %		pH	
	T	A	eau	KCl
0 - 15	6,5	0,8	8,5	7,3
30 - 40	8,2	1,4	8,5	7,4
65 - 75	13,1	2,4	8,6	7,4

V.- SOLS DES BASSES TERRASSES DE L'AVANT-PAYS MOLASSIQUE.

- A caractère non ou peu hydromorphe
  Profils n° 25-26

- A caractère hydromorphe secondaire
  Profils n° 27-28

- A caractère hydromorphe dominant
  Profil n° 29

Profil n° 25 (11/8/71/1)

Localisation : 31 - Blagnac ; X = 1°23' ; Y = 43°38' ; h = 146m

Site géomorphologique : Basse terrasse rive gauche de la Garonne ; pente très faible, de l'ordre de 0,5 % vers le nord-est.

Exploitation biologique : Vieille prairie abandonnée à chiendent.

Classification : Sol brun lessivé légèrement hydromorphe en profondeur.

DESCRIPTION

0 - 23 cm Ap : Brun clair à brun-gris clair (10 YR 6/3 à 10 YR 6/2). Limono-sableux à limono-sablo-argileux. Structure granulaire dans les quelques cm superficiels, massive dans le reste de l'horizon. Ebauche de minces fissurations sub-verticales. Quelques racines et radicelles, plus abondantes en surface. Quelques galeries et amas coprogènes d'Annélidés (tortillons). Fins pores peu abondants. Quelques graviers de l'ordre du cm, TRA : 1 à 5 %. Limite inférieure assez franche (ancienne semelle de labour), ondulée.

23 - 40cm A_2 : Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4). Limono-argilo-sableux. Structure massive à légère tendance polyédrique aplatie et ébauche de structure lamellaire verticale. Quelques minces fentes sub-verticales. Quelques racines et radicelles. Quelques petites ga-

.../...

leries d'Annélidés et amas coprogènes. Traces de revêtements argileux à la base de l'horizon. Petits pores et canalicules nombreux, de 0,2 à 1 mm de diamètre. Quelques graviers TRA 1 % à 5 %. Limite inférieure graduelle et ondulée mais passage relativement rapide à l'horizon sous-jacent.

40 - 70 cm : Brun foncé à brun-marron (10 YR 4/3). Sablo-argileux à argilo-sableux. Trainées à tendance verticale plus sombres (10 YR 4/3 à 10 YR 3/3), nombreuses, donnant à l'horizon une allure légèrement panachée. Structure polyédrique, localement à tendance prismatique (profil sec) avec esquisse de fissuration orthogonale. Revêtements argileux nets autour des agrégats et des graviers. Petits pores et fins canalicules nombreux, diamètre de 0,2 à 2 mm, avec revêtements argileux tapissant les parois. Graviers (taille moyenne : 2 cm) un peu plus abondants TRA : 5 %. Au contact de l'horizon caillouteux inférieur, quelques rares concrétions sphériques noires de fer, de l'ordre du mm de diamètre, quelques taches rouille. Limite inférieure franche, peu ondulée (mais nettement ondulée et irrégulière quelques mètres plus loin).

B_1t

(à B_1 tg

70 - 120 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons TRA : 50 à 80 %, longueur moyenne des galets 6 à 10 cm. Cristallins, quartz, quartzites, quelques schistes. L'ensemble des galets est patiné. Schistes gréseux arénisés, schistes argileux noirs

II B_2t

..../....

pourris ; de 30 à 60 % des cristallins sont fragilisés ou arénisés, avec des zones rouilles externes ou dans les fissures. Matrice argilo-sableuse de couleur brune (10 YR 5/3). Structure massive à tendance polyédrique grossière. Nombreux et nets revêtements autour des galets ou des éléments structuraux. Limite inférieure graduelle et ondulée.

120 - 250cm : II BC
Nappe de galets, graviers et gravillons. Vers 200 cm, lentille sableuse en biseau soulignée par une ligne de gros graviers. Caractères généraux des éléments caillouteux assez proches des précédents. 20 à 50 % des cristallins sont altérés, fragilisés ou en voie d'arénisation. Matrice sableuse à tendance sablo-argileuse peu prononcée, brun jaunâtre-ocre (10 YR 6/4 à 10 YR 6/5), structure particulaire légèrement massive. Par endroits, spots plus sableux et plus ocres. Faces de pression argilo-sableuses autour des galets se détachant facilement, de l'ordre de 0,1 à 1 mm d'épaisseur. Limite inférieure très graduelle et indistincte.

250 - 340cm : II CB_1
Nappe de galets, graviers et gravillons. Petite lentille sableuse au sommet. Taille des galets plus importante, longueur moyenne 10 - 12 cm, surtout entre 250 et 300 cm. Même caractères que précédemment mais cristallins altérés ou fragilisés un peu moins nombreux. Matrice sableuse, très légèrement

.../...

enrichie en argile, brun-ocre (2,5 Y 5/4), localement passée plus argileuse et plus sombre avec débris de schistes pourris, ou spots ou petites lentilles à sable grossier. Limite inférieure très graduelle, indistincte.

340 - 380cm : Nappe de galets, graviers et gravillons.
II CB_2 Mêmes caractères que précédemment, taille des galets un peu plus faible, surtout au sommet. Cristallins altérés ou fragilisés un peu moins nombreux. Matrice sableuse, très légèrement enrichie en argile, brun-jaune clair (5 Y 6/4), structure particulaire. Limite inférieure très graduelle, irrégulière et ondulée, passage progressif.

380 - 430cm : Nappe de galets, graviers, gravillons.
II C Cristallins, quartzites et quartz, quelques schistes, rares lydiennes. Les galets (taille moyenne 10 à 12 cm) sont frais, blancs et non patinés généralement. Les cristallins altérés ou fragilisés sont rares, 5 à 10 % environ. Matrice très sableuse sable grossier, couleur gris-brun clair (2,5 Y 6/2), structure très particulaire.

Analyse (Profil n° 25)

Prof. cm	GRANULOMETRIE					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
5 - 15	0	6,5	21,8	30,8	[illegible]	[illegible]
25 - 35	0	2,9	20,7	31,0	16,3	27,9
50 - 60	0	1,7	11,6	31,7	18,0	35,4
90 - 110	82,6	27,1	10,3	11,8	13,2	36,9
140 - 160	75,3	54,4	10,4	6,0	8,4	19,9
230 - 250	69,8	60,1	11,5	2,5	[illegible]	[illegible]
290 - 310	73,7	57,9	18,6	3,4	5,3	13,7
350 - 370	74,5	67,9	10,9	3,1	4,3	13,5
410 - 430	74,0	79,2	8,7	1,7	4,4	5,8

... ...

Analyse (Profil n° 25 -suite-)

Prof. cm	pH eau	pH KCl	Matière organique % MO	C	N	C/N
5 - 15	6,7	5,5	1,4	0,86	0,11	7,4
25 - 35	6,9	5,6	0,9	0,53	0,08	6,2
50 - 60	7,3	6,0	0,6	0,35	0,07	4,8
90 - 110	7,6	6,5	0,4	0,25	0,05	4,3
140 - 160	7,7	6,6	0,2	0,12	0,04	3,0
230 - 250	7,7	6,5	0,1	0,10	0,02	3,4
290 - 310	7,4	6,3	0,1	0,07	0,02	2,5
350 - 370	7,5	6,3	0,08	0,05	0,02	1,9
410 - 430	7,7	6,4	0,1	0,06	0,01	3,5

Analyse (Profil n° 25 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
5 - 15	9,1	0,17	1,4	0,06	10,7	12,0	89
25 - 35	12,0	0,21	1,7	0,06	14,1	16,9	83
50 - 60	16,7	0,23	2,2	0,06	19,3	22,3	86
90 - 110	18,8	0,21	2,6	0,09	21,8	22,2	98
140 - 160	10,7	0,12	2,1	0,09	13,1	14,3	91
230 - 250	9,8	0,12	2,2	0,09	12,3	13,8	89
290 - 310	6,9	0,08	1,3	0,09	8,5	11,7	72
350 - 370	6,3	0,08	1,0	0,09	7,6	11,1	68
410 - 430	4,5	0,04	0,50	0,06	5,1	9,4	54

Analyse (Profil n° 25 -suite -)

Prof. cm	Fe % FT	FL	FL/FT %
5 - 15	1,90	0,78	41
25 - 35	2,00	0,95	43
50 - 60	3,06	1,34	43
90 - 110	4,72	1,17	24
140 - 160	3,40	0,95	28
230 - 250	3,01	0,78	25
290 - 310	2,84	0,83	29
350 - 370	2,51	0,72	28
410 - 430	2,79	0,50	17

Profil n° 26 (29/3/71/3)

Localisation : 82 - Castelmayran ; X = 1°2' ; Y = 44°2'

Site géomorphologique : Palier de basse terrasse rive gauche de la Garonne, très légère pente vers le nord-est de l'ordre de 0,2 %

Exploitation biologique : Parcelle de blé, bordure enherbée.

Classification : Sol lessivé.

DESCRIPTION

0 - 10 cm Ap	: Brun-gris. Limono-sableux. Structure nuciforme, localement granulaire à grumeleuse, horizon assez tassé. Racines et radicelles nombreuses. Amas coprogènes. Rares graviers Limite inférieure assez franche, ondulée.
10 - 25 cm A_{21}	: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4). Limono-sableux. Structure massive. Nombreux petits pores. Racines et radicelles. Quelques rares petits points rouille. Graviers et petits galets (2 à 4 cm de longueur moyenne) TRA : 1 à 5 %. Limite inférieure graduelle, ondulée.
25 - 35cm A_{22} et $B_{11}t$	: Brun (10 YR 5/3). Limono-sablo-argileux. Structure massive légèrement polyédrique. Légers revêtements argileux autour des graviers, surtout en profondeur. Graviers et gravillons dispersés en poches. Limite inférieure graduelle, ondulée.

.../...

35 - 50 cm : Brun (10 YR 4/3). Limono-argilo-sableux. Structure massive à tendance polyédrique nette. Revêtements argileux nets autour des galets et des polyèdres. Graviers et gravillons relativement abondants TRA : 10 à 15 %. Limite inférieure assez franche, ondulée.

$B_{12}t$

50 - 90 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 50 à 70 %. La taille des galets augmente avec la profondeur. Quartz, quartzites, cristallins, quelques schistes pourris en jaune-ocre et lydiennes. La plupart des cristallins sont fragilisés ou en voie d'arénisation avec ou sans rubéfaction. Matrice argilo-sableuse à sablo-argileuse, brun rougeâtre (5 YR 4/4), avec revêtements argileux et faces de pression autour des galets, structure massive à tendance grossièrement polyédrique. Limite inférieure graduelle, ondulée.

II B_2t

90 - 140 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons à matrice sablo-argileuse brun-ocre, devenant de plus en plus grossière avec la profondeur.

II BC

Analyse (Profil n° 26)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 25	0	18,8	20,2	26,9	16,6	15,0
25 - 35	11,1	22,7	17,6	22,5	14,3	21,4
60 - 80	75,9	56,2	4,7	2,3	5,5	30,4

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
10 - 20	5,5	4,0	0,15	0,20	1,3	0,78	0,09	8,6
25 - 35	5,7	4,3	0,18	0,15	0,7	0,42	0,06	7,0
60 - 80	5,1	3,9	0,42	0,48	0,3	0,17	0,03	4,8

.../...

Analyse (Profil n° 26 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
10 - 20	2,4	0,21	0,40	0,03	3,0	8,2	36
25 - 35	4,2	0,21	0,70	0,06	5,1	10,2	50
60 - 80	4,5	0,21	1,0	0,06	5,7	18,4	30

Profil n° 27 (23/8/71/1)

Localisation : 31 - Plaisance-du-Touch ; X = 1°18' ; Y = 43°33' ;
h = 165 m

Site géomorphologique : Basse terrasse rive gauche de la Garonne ; pente très faible vers le sud-est, de l'ordre de 0,5 %

Exploitation biologique : Vieille prairie à chiendent.

Classification : Sol lessivé hydromorphe.

DESCRIPTION

0 - 15 cm Ap	: Beige-gris. Limono-sableux. Structure assez massive, horizon tassé, tendance granulaire en surface, lamellaire à polyédrique plus en profondeur. Racines et radicelles, surtout en surface. Quelques grosses galeries zoogènes. Graviers et galets rares TRA : 1 à 3 %, certains galets brisés. Limite inférieure graduelle, ondulée.
15 - 30 cm A_{21}	: Brun très clair (10 YR 7/3). Limono-sableux à sablo-limoneux. Structure massive légèrement polyédrique. Quelques cavités zoogènes et radicelles. Très légèrement et discrètement panaché : zones un peu plus claires et plages un peu plus sombres (avec amas coprogènes). Nombreux et très petits pores ou canalicules. Petits gravillons de 2 à 4 mm, roulés, assez abondants. Rares galets de plusieurs cm de long. Limite inférieure graduelle et ondulée.

.../...

30 - 60 cm : Brun (10 YR 6/3). Limono-sableux devenant peu à peu un peu plus argileux. Structure légèrement polyédrique devenant de mieux en mieux exprimée avec la profondeur. Quelques minces fissures verticales exploitées par racines ou radicelles. En profondeur, discret panachage par trainées plus sombres (10 YR 5/4) avec revêtements argileux autour des polyèdres ou galets. Quelques points noirs ou rouille à l'intérieur des agrégats. Quelques graviers ou petits galets (2 à 3 cm) TRA : 2 à 3 %. Limite inférieure graduelle, ondulée.

A_{22} et $B_{11}tg$

60 - 75 cm : Idem horizon précédent mais plus argileux, structure polyèdrique mieux exprimée, traînées sombres plus larges (10 YR 5/3) et revêtements argileux plus nets, points rouille et noirs dans et sur les polyèdres. Limite inférieure graduelle et ondulée.

$B_{12}tg$

75 - 95 cm : Brun légèrement jaunâtre (10 YR 5/4) avec larges et abondantes traînées (TRA : 40 à 60 %) plus sombres (10 YR 4/4) et quelques plages plus claires (10 YR 6/3 à 10 YR 6/2) en profondeur. Argilo-limono-sableux. Structure nettement polyédrique. Nets revêtements argileux autour des agrégats, des galets, tapissant la paroi des gros pores ou canaux. Nombreux petits pores et canalicules. Points noirs et ocre, quelques revêtements, noirs autour des agrégats ou des graviers et galets, surtout en profondeur

$B_{2}tg$

.../...

au contact de II B_3tg. Graviers et galets un peu plus abondants, surtout en profondeur. Au contact de l'horizon suivant, marmorisation, revêtements noirs de fer avec quelques concrétions noires assez peu durcies (1 à 4 mm de diamètre), sont plus abondants et plus nets. Limite inférieure franche, irrégulière et ondulée.

95 - 120 cm : Nappe de galets, graviers, gravillons, TRA : 60-70 %, taille moyenne des galets de l'ordre de 3-4 cm, avec 10 à 20 % en TRA des éléments de taille supérieure à 6-7 cm. Quartz, cristallins, quartzites. 30 à 50 % des cristallins sont fragilisés parfois arénisés et rubéfiés. Les galets sont patinés. Matrice argilo-sableuse brun-marron (7,5 Y 4/4 à 5 YR 4/4), structure massive à débit polyédrique angulaire. Revêtements argileux nombreux et nets autour des galets et dans les agrégats. Nets enduits noirs, quelques concrétions noires rondes de 1 à 3 mm de diamètre, galets ou graviers épigénisés par le fer, l'ensemble représentant un TRA de 3 à 5 %, surtout net et bien exprimé au sommet de l'horizon. Limite inférieure graduelle et ondulée.

II B_3tg

120 - 150 cm: Nappe de galets, graviers et gravillons. Matrice brun-ocre foncé sableuse à sablo-argileuse, structure massive à légère tendance polyédrique. Quelques enduits noirs, graviers épigénisés par le fer. Assez nombreux petits cristallins pourris et colorés en ocre rougeâtre ou noir.

II BC_g

Analyse (Profil n° 27)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 30	5,6	9,8	22,8	30,5	16,7	18,5
40 - 50	0	9,7	19,3	31,9	17,0	20,8
60 - 75	0	6,9	19,4	29,0	17,7	25,4
80 - 90	0	5,9	19,3	26,6	15,7	31,1
100 - 110	30,2	23,1	8,9	12,1	12,8	41,6

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
15 - 30	6,2	5,4	0,27	0,11	1,0	0,63	0,08	7,5
40 - 50	6,3	5,4	0,28	0,11	0,6	0,39	0,06	6,7
60 - 75	6,5	4,8	0,39	0,17	0,5	0,33	0,05	5,8
80 - 90	6,2	5,0	0,35	0,16	0,5	0,30	0,06	5,2
100 - 110	6,0	5,0	0,18	0,09	0,8	0,49	0,06	7,8

Analyse (Profil n° 27 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
15 - 30	6,5	0,12	1,7	0,06	8,4	10,3	81
40 - 50	5,7	0,12	1,8	0,06	7,8	9,4	82
60 - 75	6,4	0,17	2,8	0,06	9,5	11,8	80
80 - 90	7,6	0,23	3,7	0,09	11,6	14,8	78
100 - 110	10,7	0,36	5,3	0,19	16,6	19,6	84

Prof. cm	Fe %			Al_2O_3 %
	FT	FL	FL/FT %	
15 - 30	1,67	0,70	41	0,12
40 - 50	1,89	0,78	41	
60 - 75	2,12	0,89	41	
80 - 90	2,73	1,11	40	0,19
100 - 110	4,07	1,84	45	
140 - 150	3,02	1,19	39	

Profil n° 28 (26/8/72/1)

Localisation : 09 - Mazères ; X = 1°40' ; Y = 43°14' ;
h = 240 m

Site géomorphologique : Plateau de la basse Boulbonne, terrasse rive droite de l'Ariège et rive gauche de l'Hers vif, très légère pente vers le nord-nord-est de l'ordre de 0,5 %

Exploitation biologique : Secteur de lotissement résidentiel.

Classification : Sol lessivé hydromorphe.

DESCRIPTION

0 - 45 cm Ap et A_{21}	: Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4), plus foncé en surface. Sablo-limoneux. Structure massive, horizon tassé, avec quelques fissures verticales. Quelques résidus de racines et radicelles anciennes. Quelques galets de petites dimensions et graviers. Limite inférieure graduelle, ondulée.
45 - 70 cm A_{22}g et B_1tg	: Brun jaunâtre (10 YR 5/4) devenant un peu plus foncé en profondeur. Sablo-limoneux devenant plus argileux vers le bas. Structure massive à légère tendance polyédrique. Quelques taches rouille et noires plus abondantes en profondeur associées à des revêtements noirs sur quelques graviers ou galets présents dans l'horizon, plus nombreux en profondeur. Petits pores et canalicules. Limite inférieure assez franche, localement plus graduelle, ondulée.

.../...

70 - 95 cm : Sommet de la nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 40 à 60 %. Cristallins et quartz essentiellement. Rares cristallins arénisés, mais beaucoup sont fragiles et s'ouvrent au marteau ou sous le pied, avec fissures ocre et rouille. Galets patinés. Matrice limono-sablo-argileuse couleur brun foncé légèrement jaunâtre (10 YR 5/3 à 10 YR 4/4) avec marmorisation par plages plus ocre (7,5 YR 6/8) structure massive à tendance grossièrement polyédrique. Taches et revêtements noirs sur les galets, TRA : 5 à 10 %, quelques concrétions sphériques noires de fer, taille 1 à 5 mm. Quelques revêtements argileux autour des galets et graviers. Limite inférieure graduelle, ondulée.

II B_2tg

95 - 130cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, à matrice un peu plus argileuse que précédemment, revêtements noirs un peu moins nombreux. Limite inférieure graduelle et ondulée.

II B_3 tg

130 - 160cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, à matrice de couleur plus rouille, sablo-argileuse à sable grossier, rares revêtements noirs autour des galets ou graviers, aspect plus ou moins marmorisé par zones plus rouille et zones plus sombres.

II BC_g

Analyse (Profil n° 28)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 30	0	12,6	26,4	29,0	16,9	13,0
45 - 55	15,5	12,3	30,1	24,1	16,6	14,8
70 - 80	25,0	8,3	22,4	27,4	19,5	21,7
100 - 110	39,5	39,2	15,3	8,1	11,4	25,9

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
15 - 30	7,0	6,1	1,1	0,68	0,08	7,9
45 - 55	7,8	6,3	0,9	0,53	0,07	7,2
70 - 80	7,9	6,3	0,3	0,18	0,04	4,6
100 - 110	7,0	5,9				

.../...

Analyse (Profil n° 28 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	$\frac{FL}{FT}$ %
15 - 30	7,8	0,12	0,90	0,03	8,9	8,6	sat.	1,28	0,67	52
45 - 55	7,8	0,51	0,60	0,03	9,1	9,6	94	1,40	1,06	75
70 - 80	8,6	0,08	0,25	0,06	9,0	10,7	84	2,00	1,06	51

Profil n° 29 (28/3/72/5)

Localisation : 82 - Montech ; X = 1°14' ; Y = 43°58' ; h = 102 m

Site géomorphologique : Plateau de confluence de Lavilledieu - Montech (terrasses de la Garonne rive-droite et du Tarn rive-gauche) ; très légèrement ondulé, pente de 0,5 à 1 % vers l'est.

Exploitation biologique : Bordure de vigne enherbée ; zone de gravières.

Classification : Sol hydromorphe peu humifère à pseudogley, à profil de sol lessivé.

DESCRIPTION

0 - 15 cm Ap	: Brun-gris clair. Sablo-limoneux à sablo-limono-argileux. Structure assez massive, finement granulaire dans les premiers cm de l'horizon, à tendance légèrement polyédrique plate ou feuilletée verticalement dans le reste de l'horizon. Racines et radicelles nombreuses. Quelques cavités zoogènes et amas coprogènes. Quelques petits graviers de quartz. Limite inférieure assez franche, et rectiligne, localement plus graduelle.
15 - 35 cm A_2g	: Brun clair (10 YR 6/3). Sablo-argilo-limoneux. Structure polyédrique arrondie à nuciforme. Petits pores de 0,1 à 1 mm de diamètre. Quelques racines et radicelles. Assez fréquents petits points noirs ou rouille, gaines rouille des radicelles,

.../...

petites concrétions assez dures de 0,5 à 1 mm de diamètre, un peu plus abondantes en profondeur. Limite inférieure souvent franche et ondulée, localement rectiligne.

35 - 50 cm B_1 tg	: Horizon assez discrètement marmorisé à fond brun jaunâtre (10 YR 6/4) avec taches ou plages plus claires grisâtres, plus nettes en profondeur. Argileux. Structure nettement polyédrique, localement à tendance prismatique (zones plus sèches) se débitant en minuscules polyèdres. Quelques radicelles. Petits pores assez nombreux de 0,1 à 1 mm de diamètre. Quelques nettes concrétions dures de fer, noires, de 1 à 3 mm de diamètre. Revêtements argileux luisants assez nets autour des agrégats, sur la paroi des gros pores. Quelques graviers quartzeux. Limite inférieure graduelle et ondulée.
50 - 90 cm B_2 tg	: Horizon nettement marmorisé, à plages ocre vif (5 YR 5/8 à 7,5 YR 5/6) et plages gris rosé (7,5 YR 6/2), couvrant une surface de même ordre dans l'horizon. Argileux. Structure polyédrique nette, à débit finement polyédrique. Petits pores moins nombreux que précédemment. Nets revêtements argileux luisants (gris le plus souvent) autour des agrégats. Nombreuses concrétions noires de fer de 1 à 4 mm de diamètre (TRA : 2 à 3 %). Revêtements noirs de fer autour des agrégats ou des graviers. Quelques graviers dispersés. Le TRA des plages grises augmente quelque peu avec la profondeur et la marmorisation à tendance à s'organiser

.../...

horizontalement, mais ceci n'est pas général. Au contact avec les cailloutis sous-jacents, le TRA de graviers et galets (2 à 5 cm) augmente nettement, donnant localement un faciès de grep tendre où concrétions et revêtements noirs ont un TRA de 50 %, les concrétions sphéroïdes noires et dures de fer pouvant atteindre 1 cm de diamètre. Très localement,cet horizon se poursuit (en poche) jusqu'à 110 cm de profondeur, mais avec une charge de galets et graviers très abondantes (TRA : 50 %), très marmorisé et à organisation horizontale des bandes grises assez nette.
Limite inférieure généralement franche, rectiligne ou ondulée.

90 - 120 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA 70 %. Longueur moyenne des galets 3 à 5cm. Quartzites, quartz, grés siliceux, quelques schistes pourris ou altérés. Les cristallins sont assez peu abondants (10 à 20 %) le plus souvent très fragiles, rubéfiés ou blanchis selon leur situation vis à vis du panachage, le coeur pouvant être rouille et le cortex superficiel mince blanc, assorti parfois d'un liseré interne rouille au contact du noyau sain. Matrice sablo-argileuse panachée, couleur de fond ocre à ocre-rouge (5 YR 5/8), avec plages ou bandes sub-horizontales grisâtres (2,5 Y 5/2 à 2,5 Y 6/2), et plages ocre-rouge (5 YR 5/6), ces deux couleurs caractérisant souvent des zones de revêtements argileux autour des galets. Traces et revêtements noirs présents

II B_3tg

.../...

dans tout l'horizon, avec concrétions noires rondes par endroit. Limite inférieure graduelle, ondulée.

120 - 180cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, caractères identiques à ceux de l'horizon

II BC_1g précédent. Matrice sableuse, un peu argileuse au sommet, structure d'ensemble particulaire. Marmorisation organisée en bandes grisâtres (2,5 Y 6/2) sub-horizontales avec raccords locaux en diagonale ou verticaux, sur fond rouille-ocre (5 YR 5/8 à 7,5 YR 6/8). Faces de pressions sablo-argileuses autour des galets, concrétions noires rondes et revêtements noirs de fer assez peu nombreux, dispersés ou en poches. Les bandes grises deviennent plus nettes avec la profondeur, leurs limites sont plus franches avec le fond ocre. La granulométrie des bandes grises est souvent nettement plus grossière que celle des plages ocre : très forte charge caillouteuse, graveleuse ou gravillonnaire, avec fort peu de matrice plus fine, parfois. Dans le détail, la matrice grisâtre des bandes grises se révèle elle aussi panachée par 10 à 20 % (en TRA) de zones ocre, qui patinent ainsi localement la surface des galets généralement "propres" des bandes grises. Limite inférieure graduelle par atténuation des bandes grises.

180 - 250cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, taille moyenne des galets légèrement plus

II BC_2 g faible que dans l'horizon précédent. Matrice

.../...

ocre-clair (7,5 YR 6/8) avec ébauches plus ou moins nettes de bandes plus grisâtres surtout nettes dans les lits les plus riches en graviers et gravillons. Matrice sableuse, structure particulaire. Limite inférieure franche, ondulée.

250 - 265cm : Bande sub-horizontale caillouteuse à matrice sableuse, à nombreux revêtements noirs de fer, avec amas sableux noirs (grains de sable à revêtements noirs). Limite inférieure assez franche, ondulée.

II BC_3 Fe_g

265 - 280cm : Nappe de galets, graviers et gravillons. Matrice sableuse à sable grossier, structure particulaire, couleur jaune-ocre à rouille (7,5 YR 7/8 à 6/8), avec quelques points noirs ou gris. Nappe phréatique à 300 - 320 cm.

II BC_4 g

Analyse (Profil n° 29)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 30	0	20,4	15,4	17,1	18,7	27,2
40 - 50	4,6	8,1	10,2	15,5	15,4	49,4
60 - 70	0	9,6	11,7	14,5	14,1	49,1
95 - 115	64,6	67,8	4,8	1,5	0,3	24,4
130 - 150	76,4	77,7	2,9	0,5	1,8	16,6
200 - 220	66,1	86,5	0,5	0,2	0,6	11,8

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
20 - 30	6,7	5,1	0,00	0,00	0,2	0,13	0,03	3,7
40 - 50	5,2	3,9	0,00	0,00	0,5	0,31	0,05	5,7
60 - 70	4,9	3,7	0,00	0,00	0,2	0,14	0,04	3,4
95 - 115	4,7	3,6	0,03	0,02	0,1	0,07	0,02	3,4
130 - 150	4,8	3,6	0,05	0,04	0,09	0,05	0,02	2,8
200 - 220	5,6	4,4	0,09	0,05	0,08	0,05	0,01	2,9

.../...

Analyse (Profil n° 29 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
20 - 30	6,3	0,10	2,8	0,16	9,3	15,8	58
40 - 50	7,4	0,34	0,60	0,06	8,4	20,4	41
60 - 70	6,9	0,34	0,75	0,09	8,0	22,7	35
95 - 115	2,4	0,12	3,7	0,06	6,3	14,7	42
130 - 150	2,4	0,14	3,7	0,06	6,3	13,4	47
200 - 220	2,8	0,14	3,0	0,06	6,0	11,0	54

Prof. cm	Fe %		
	FT	FL	FL/FT %
20 - 30	1,61	1,00	62
40 - 50	3,90	1,95	50
60 - 70	4,40	2,56	58
95 - 115	5,13	2,56	50
130 - 150	5,19	1,95	37
200 - 220	5,58	2,73	48

VI.- SOLS A HORIZONS CAILLOUTEUX PROFONDS RUBEFIES ET ARENISES DE LA ZONE SOUS-PYRENEENNE.

- Couverture limoneuse à caractère de sol lessivé hydromorphe
  Profils n° 30 - 31

- Couverture limoneuse à caractère de néosol
  Profils n° 32 - 33

Profil n° 30 (31/8/72/4)

Localisation : 31 - Seilhan ; X = 0°34' ; Y = 43°3' ; h = 475 m

Site géomorphologique : "Haute terrasse" de Seilhan, rive droite de la Garonne ($t_3$gl de la carte C.N.R.S. 1970). Pente 2 à 3 % vers le sud-est.

Exploitation biologique : Prairie naturelle.

Classification; Sol lessivé hydromorphe(sur couverture limoneuse remaniée).

DESCRIPTION

0 - 7 cm A_1 : Brun-gris (10 YR 5/2). Limoneux à limono-argileux. Structure granulaire. Racines et radicelles, quelques mousses plaquées contre le profil. Quelques amas coprogènes. Limite inférieure graduelle et ondulée.

7 - 45 cm A_2 g : Brun clair (10 YR 5/3) avec taches rouille (7,5 YR 6/6) assez peu nombreuses, mais nettes et plus abondantes par place. Limoneux à limono-argileux. Structure massive, légèrement feuilletée verticalement. Quelques graviers et galets TRA : 1 à 3 %, nombreux petits gravillons 2 à 5 mm de diamètre. Limite graduelle et ondulée.

45 - 120 cm A_2 g et B_1tg : Marmorisé, couleur de fond brun-jaunâtre (10 YR 5/8) avec plages plus claires (10 YR 6/6) se renforçant en profondeur.

.../...

Structure massive à tendance polyédrique plate. Rares concrétions et revêtements noirs (10 YR 2/2) de fer, nettement plus abondants en profondeur. Graviers et galets un peu plus abondants, quartz, quartzites, cristallins, aspect sain, légèrement patinés. Limite inférieure assez franche, ondulée, soulignée sur la coupe par une ligne sporadique de blocs, galets et graviers d'aspect frais, à l'exception de quelques grés schisteux altérés.

120 - 180cm : B_2 tg

Marmorisé, couleur de fond orangée (7,5 YR 6/8) représentant un TRA de 60 % avec zones plus claires (10 YR 6/4) et zébrures noires (7,5 YR 3/0). Argilo-limoneux. Structure massive à tendance polyédrique nette. Quelques concrétions noires de fer, nombreux revêtements noirs TRA : 10 à 30 %. Au sommet de l'horizon nombreuses concrétions tendres de fer et agrégats épigénisés par le fer, avec revêtements. Quelques graviers et galets, exceptionnellement blocs (longueur supérieure à 30 cm) TRA 5 à 10 %.

Analyse (Profil n° 30)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 30	0	13,6	17,8	18,8	26,1	21,6
90 - 100	0	10,4	17,1	20,0	26,5	24,6
140 - 150	0	6,4	10,4	15,4	24,0	42,6

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
20 - 30	6,3	5,1	1,6	0,95	0,12	7,6
90 - 100	6,3	4,8	0,3	0,17	0,05	3,4
140 - 150	6,0	5,1	0,3	0,17	0,06	2,7

.../...

Analyse (Profil n° 30 -suite-)

Prof.	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
cm	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	$\frac{FL}{FT}$ %
20 - 30	7,2	0,06	0,20	0,16	7,6	11,9	64	2,90	0,89	30
90 - 100	3,7	0,32	0,95	0,06	5,1	10,4	48	2,95	0,83	28
1[illegible] - 150	5,5	0,61	1,5	0,25	7,8	14,4	54			

Profil n° 31 (25) [illegible]

Localisation : 31 - Labarthe-de-Rivière ; X = 0°41' ; Y = 43°5' ; h = 420 m

Site géomorphologique : Lambeau de terrasse (lieu-dit Espéradès) de la Garonne, rive droite, pente 1 à 2 % vers le nord-est, s'accentuant à proximité du vallon de Plapach.

Exploitation biologique : Prairie naturelle.

Classification : Sol lessivé hydromorphe (à concrétionnement du fer discontinu).

DESCRIPTION

0 - 25 cm

A_{11}

: Brun (10 YR 4/2). Limoneux à limono-sableux. Structure polyédrique à nuciforme, localement granulaire à finement grumeleuse. Racines et radicelles abondantes dans les 10 premiers cm ; galeries et déjections d'Annélidés, nettes surtout dans la partie inférieure de l'horizon. Limite inférieure graduelle, ondulée.

25 - 40 cm

A_{12} et A_2

: Brun-jaune (10 YR 5/4 à 6/4) avec traînées verticales plus sombres (10 YR 4/2). Limoneux à limono-sableux. Quelques radicelles, quelques galeries d'Annélidés. Nombreux petits pores et canalicules de 0,1 à 1 mm de diamètre. Limite inférieure graduelle, ondulée.

40 - 70 cm

A_2g et B_1tg

: Brun-jaune à brun (10 YR 5/4 à 10 YR 5/3), avec taches rouille rares au sommet mais devenant plus nombreuses, plus larges, et

.../...

plus diffuses en profondeur, tandis que la couleur de fond devient légèrement plus ocre. Limoneux devenant peu à peu limono-argileux avec la profondeur. Structure légèrement massive, à faible tendance polyédrique. Rares radicelles. Petits pores et canalicules. Limite inférieure graduelle et assez franche lorsque se présente une accumulation de concrétions d'un diamètre de l'ordre du cm, peu nombreuses et inégalement réparties (en réalité, éléments structuraux ou petits gravillons ou graviers épigénisés par le fer.

[illegible] - [illegible] : Horizon de concrétionnement du fer à faciès de grep assez tendre et très discontinu, développé dans un matériel à graviers et petits galets TRA : 10 à 20 %. Couleur de fond : brun-jaune clair, parfois à tendance grisâtre (10 YR 6/3 à 10 YR 6/2) avec zones noires ou brun-noir (10 YR 2/2) représentant environ 30 à 40 % de la surface observée. La formation est très discontinue et disparaît lorsque la charge graveleuse diminue, passant alors à un faciès de revêtements noirs autour des graviers et des éléments structuraux. Limite inférieure franche ou graduelle selon le cas, ondulée.

B_2 Fe^g

[illegible] - 115 cm : Horizon marmorisé, brun-ocre à plages de couleur brun-gris clair et zones noires de revêtements autour des éléments structuraux et des graviers ou galets. Limono-argilo-sableux.

B_3 tg

.../...

Structure massive à tendance polyédrique. Revêtements argileux autour des galets ou graviers. Quelques galets cristallins et schistes pourris. Limite inférieure assez franche ou graduelle par mélange progressif avec l'horizon inférieur, ondulée et irrégulière.

115 - 170cm : Arène sableuse à sablo-limoneuse, de couleur brun-rouille à brun-orangé (10 YR 6/8 à 7,5 YR5/8), à structure particulaire à massive. Débris de cristallins généralement altérés. A 50 m de là, l'entaille du vallon dans la terrasse permet d'observer la nappe dans son ensemble : nappe très hétérométrique, où les cristallins dominent. La taille des éléments va du gravillon et du gravier aux galets de 15 - 20 cm de long et aux blocs de 50-70 cm (plus nombreux en profondeur). 50 à 80 % des cristallins sont arénisés ou nettement fragilisés mais dans la plupart des cas, leurs limites avec la matrice environnante sont très franches. La matrice est sableuse, de couleur généralement brun-ocre, parfois ocre vif ou rougeâtre. Le plus souvent, la tranche des galets cristallins altérés offre une couleur blanchâtre à points noirs, localement elle est ocre ou rouille. Graviers et gravillons sont généralement abondants dans la matrice sableuse. En profondeur, vers 3m - 4m sous la surface, la coloration de la matrice est plus variable, un peu plus terne. Par endroit, passées un peu plus argileuses, provenant de l'altération de schistes.

II BC

Analyse (Profil n° 31)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
25 - 40	0	7,4	15,8	24,3	23,0	27,8
85 - 115	0	8,5	17,4	19,5	20,3	33,1
130 - 140	14,0	25,8	34,9	9,9	4,8	23,3

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
25 - 40	6,4	4,8	0,00	0,00	0,9	0,56	0,07	7,6
85 - 115	5,5	4,1	0,00	0,00	0,3	0,20	0,04	4,1
130 - 140	5,5	4,9	0,00	0,00	0,2	0,12	0,03	3,3

.../...

Analyse (Profil n° 31 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	$\frac{FL}{FT}$%
25 - 40	2,7	0,02	0,00	0,12	2,9	8,5	34	2,06	1,45	72
85 - 115	0,82	0,04	0,00	0,09	1,0	10,7	9	3,57	0,89	24
130 - 140	6,1	0,91	2,6	0,28	10,0	15,1	66	4,85	0,61	12

Profil n° 32 (3/10/71/4)

Localisation : 09 - Foix ; X = 1°36' ; Y = 42°57' ;
h = 435 m

Site géomorphologique : Rebord de la terrasse de Cadirac, rive gauche de l'Ariège, pente forte vers l'est. La surface du plateau ondulé de Cadirac se trouve environ 10 m plus haut.

Exploitation biologique : Taillis et broussailles.

Classification : Sol brun acide (néosol sur matériaux glissé).

DESCRIPTION

0 - 50 cm (A_p C) : Matériel limono-sableux glissé sur le versant, emballant galets et débris de galets, graviers et gravillons, avec quelques petits blocs, dispersés dans la masse. Limite inférieure graduelle ou franche selon le cas, très irrégulière et très ondulée.

50 - 80 cm (II BC_1) : Nappe de petits blocs, galets, graviers et gravillons, TRA : 20 à 50 %. Longueur moyenne des galets 5 - 6 cm, quelques petits blocs surtout en profondeur, 30 - 40 cm. Cristallins et quartz essentiellement, quelque schistes pourris. Assez nombreux cristallins pulvérulents effrités ou aux contours nets, blanchis à points noirs ou rubéfiés locale-

.../...

ment, coexistant avec des cristallins peu altérés ou à cortex blanc poudreux superficiel. Les galets sont généralement patinés. Matrice brun-rouge (7,5 YR 6/8 à 5 YR 5/4), sablo-limoneux à sableux, structure massive légèrement polyédrique. Ebauche de revêtements argileux ou faces de pression autour des galets. Racines et radicelles. Nombreux graviers et gravillons dans la matrice. Limite inférieure graduelle et très irrégulière.

80 - 110cm II BC_2 : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 30 à 60 %, plus hétérométrique que précédemment. Nombreux débris de cristallins arénisés, les uns effrités et amorphes, les autres ayant conservé leur contour. Petits éléments (quartz ?) blancs, fragiles et poudreux en surface. Matrice brun rougeâtre à brun (7,5 YR 5/6) plus diversifiée que précédemment avec plages locales plus claires et plus ocrées (schistes pourris) et zones plus sombres ; sablo-limoneux à sableux ; structure massive à débit polyédrique donné par la charge en graviers et gravillons. Quelques faces de pression ou revêtements argileux autour des galets. Limite inférieure graduelle et irrégulière.

110-170cm II BC_3 : Idem horizon II BC_2 mais plus hétérométrique, matrice un peu plus sableuse. Limite inférieure graduelle, très irrégulière.

170 - 270cm II BC_4 : Nappe très hétérométrique avec blocs (gneiss) de 50 cm de long. Couleur de la matrice très

.../...

diversifiée : fond brun rougeâtre (7 YR 5/6 à 6/6) avec plages ocre, blanches, (cristallins pourris), brun-noir (schistes carbonés) ;sableux, structure massive à particulaire. Les blocs de gneiss sont d'aspect relativement frais, mais fragiles en surface et s'effritant au marteau, certains résistant au contraire.

vers 1 000cm: II C à II CB — Au pied de la terrasse de Vernajoul,on peut observer le matériel profond : nappe très hétérométrique, à blocs, galets, graviers et gravillons, TRA : 60-70 %. Cristallins et quartz essentiellement, quelques schistes. Certains blocs ou galets cristallins sont fragiles, mais leur aspect est nettement plus frais qu'au sommet de la terrasse. Matrice sableuse brun-clair (7,5 Y 6/4) localement un peu plus ocre, structure particulaire.

Analyse (Profil n° 32)

Prof. cm	EG	GRANULOMETRIE %				
		% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
60 - 80	61,3	30,8	23,4	13,6	15,6	15,3
90 - 110	60,6	46,0	16,7	9,9	14,7	11,8
140 - 160	69,4	54,7	10,3	7,7	13,4	12,8
210 - 230	57,5	45,5	15,7	9,7	14,2	13,9
1 000	18,0	65,0	15,1	4,1	5,9	8,7

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
60 - 80	6,5	5,7	0,5	0,34	0,05	6,8
90 - 110	6,8	5,9	0,3	0,17	0,03	5,1
140 - 160	6,9	5,8	0,3	0,17	0,03	4,9
210 - 230	6,8	5,6	0,2	0,15	0,02	5,6
1 000	5,8	4,6	0,6	0,38	0,04	8,4

.../...

Analyse (Profil n° 32 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
60 - 80	8,5	0,27	0,90	0,16	9,9	15,6	63
90 - 110	6,5	0,21	0,85	0,16	7,8	12,8	60
140 - 160	5,0	0,14	0,70	0,12	6,0	12,6	47
210 - 230	4,0	0,17	0,65	0,32	5,2	12,2	42
1 000	0,64	0,06	0,15	0,03	0,9	9,5	9,4

Prof. cm	Fe %		
	FT	FL	FL/FT %
60 - 80	4,40	2,40	54
90 - 110	4,79	2,79	58
140 - 160	4,96	2,95	59
210 - 230	4,96	3,18	64
1 000	3,00	1,52	51

Profil n° 33 (30/8/72/9)

Localisation : 09 - Saint-Girons-Antichan ; X = 1°7' ;
Y = 43° ; h = 410m

Site géomorphologique : Rebord de la terrasse d'Antichan, pente forte vers l'est, à proximité de la surface du plateau.

Exploitation biologique : Ancienne prairie, tranchée d'habitation.

Classification : Sol brun lessivé hydromorphe (localement proche d'un néosol sur matériaux remaniés et colluvionnés).

DESCRIPTION

0 - 25 cm A_p et A_{21}	: Gris-brun foncé. Limono-sableux. Structure grenue en surface, plus massive en profondeur. Quelques graviers et galets. Racines et radicelles. Limite inférieure graduelle ou assez tranchée selon le cas, ondulée.
25 - 50 cm A_{22g} et B_{tg}	: Légèrement marmorisé beige clair et beige foncé jaunâtre. Limono-sablo-argileux. Structure légèrement polyédrique, éléments peu consistants. Petits pores et canalicules. Graviers et galets surtout abondants en profondeur, localement ligne de gros galets formant la limite inférieure, généralement franche, très irrégulière. Latéralement, cette couverture limoneuse devient mince et s'apparente davantage à un néosol acide brunifié.

.../...

50 - 250 cm : Nappe de galets, graviers, gravillons, très hétérométrique, TRA : 50 à 80 %, avec zones ou poches et lentilles beaucoup plus chargées que d'autres. Nombreux cristallins (souvent, près de 50 % du TRA), quartz, éléments gréseux et schisteux, rares quartzites. 60 à 90 % des cristallins sont arénisés, pulvérulents ou au moins clairement fragilisés, donnant souvent une masse sableuse ocre (7,5 YR 6/8) à points clairs jaunâtres (2,5 Y 8/4) aux contours généralement bien conservés et très peu intégrés à la matrice interstitielle. Certains cristallins offrent cependant un faciès relativement frais, avec un coeur dur. Par endroit, taches et revêtements noirs peu nombreux (10 YR 2/1). Localement, lits de 20 à 50 cm d'épaisseur, sableux, ocre à points blancs jaunâtres. En règle générale, matrice interstitielle sableuse ocre (7,5 YR 6/8 à 5 YR 5/8), structure particulaire. Par place, zones litées et bien délimitées plus foncées et grisâtres, plus argileuses à faciès local de "boue" séchée, apparemment liées à l'altération de matériaux schisteux. Limite inférieure très graduelle, très irrégulière.

II BC_1 à II BC_1g

250 - 330cm : Nappe très hétérométrique, avec gros éléments de 30 cm de longueur. Mêmes caractères que précédemment, mais matrice d'aspect plus bariolé, avec points et taches noires plus nombreux sur un fond ocre jaunâtre (7,5 YR 6/8 à 10 YR 6/6) et zones blanches jaunâtres. Matrice un peu plus sableuse que dans le II BC_1.

II BC_2 à II BC_2g

Analyse (Profil n° 33)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
70 - 90	0	51,5	17,0	5,4	8,5	17,1
280 - 300	0	38,1	21,8	11,6	16,3	11,4

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
70 - 90	5,2	4,2	0,2	0,11	0,03	3,0
280 - 300	5,4	4,3	0,2	0,11	0,03	3,8

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
70 - 90	1,7	0,04	0,20	0,25	2,2	10,2	20
280 - 300	2,1	0,08	0,30	0,16	2,6	11,4	22

.../...

Analyse (Profil n° 33 -suite-)

Prof. cm	Fe %		
	FT	FL	FL/FT %
70 - 90	5,58	3,62	64
280 - 300	4,52	2,71	59

VII.- SOLS A HORIZONS CAILLOUTEUX PROFONDS RUBEFIES, ARGILISES ET COLMATES DES MOYENNES ET HAUTES TERRASSES ALLUVIALES.

- A caractère de sols lessivés hydromorphes
  Profils n° 34-35-36-37-38

- A caractère de sols hydromorphes
  . à pseudogley
    Profil n° 39

  . à accumulation de fer
    Profils n° 40-41

- A caractère de sol lessivé podzolique
  Profil n° 42

Profil n° 34 (15/8/71/2)

Localisation : 31 - Léguevin ; X = 1°17' ; Y = 43°36'
h = 183m

Site géomorphologique : Moyenne terrasse rive gauche de la Garonne. Bordure de l'Aussonnelle (rive droite). Faible pente de la surface vers le nord (tête d'un petit vallon très faiblement inscrit).

Exploitation biologique : Secteur de carrière (Gélis). Bordure enherbée. Surface remaniée par les engins de travaux publics. Amendement calcaire ancien à base de molasse nettement visible dans l'horizon de surface.

Classification : Sol lessivé hydromorphe.

DESCRIPTION

0 - 30 cm
Ap
: Horizon très remanié, brun-gris, à débris de molasse plus claire par endroit. Localement calcaire. Limoneux. Structure massive, horizon tassé. Graviers et gravillons, TRA 10 %, parfois en amas. Quelques racines et radicelles, quelques amas coprogènes. Limite inférieure graduelle, plus franche par endroit ondulée.

30 - 65 cm
A_2 et B_1 tg
: Brun légèrement jaunâtre (10 YR 5/4). Limoneux à limono-sableux devenant limono-argileux en profondeur. Structure assez massive, à tendance schisteuse, devenant légèrement polyédrique en profondeur. Graviers et galets

.../...

(ces derniers localement abondants) TRA 10 à 15 %, nombreux gravillons, tous ces éléments durs patinés et de couleur sombre. Quelques racines. Petits pores. Assez souvent, en profondeur, quelques concrétions noires, rondes et dures de fer, 1 à quelques mm de diamètre, et revêtements noirs sur les graviers. Limite inférieure généralement franche, très ondulée et irrégulière.

65 - 80 cm : Horizon riche en graviers et gravillons,
B_2 tg

avec quelques galets, TRA : 30 à 50 % répartis dans tout l'horizon ou en lits ou en poches plus chargées. Couleur de fond brun (10 YR 5/4) avec nombreuses taches et zones noires (10 YR 3/1) dues aux revêtements de fer sur les graviers et aux concrétions noires (diamètre : 0,2 à 0,5 cm). Localement, induration d'une partie de l'horizon (faciès de grep tendre). Argileux, surtout en profondeur. Structure massive à débit polyédrique donné par les éléments graveleux. Revêtements argileux autour des agrégats et graviers. Revêtements noirs et concrétions deviennent plus rares vers le bas, tandis que l'horizon devient moins cohérent. Limite inférieure généralement franche et ondulée.

80 - 130 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons,
II B_3 tg

TRA : 50 à 70 %. Environ la moitié du TRA est dû aux galets de taille supérieure à 10 cm. Quartz, quartzites, cristallins, schistes friables ou en poudre. Les cristallins sont tous altérés sous des faciès divers:

.../...

amas argilo-graveleux gris-ocre avec un coeur grossier peu argilisé, amas argilo-graveleux parfois sableux de couleur rouille ou ocre vif ; certains restent blancs et sablo-argileux, avec points ou taches rouille etc... Très généralement, les cristallins s'intègrent à la matrice, leurs limites externes sont très graduelles. La matrice est argilo-graveleuse, couleur de fond, brun-ocre (10 YR 5/6) à rougeâtre (5 YR 5/6 à 5 YR 5/8), finement nuancée dans le détail selon la nature des matériaux altérés, avec taches, revêtements et concrétions noires TRA : 3 à 5 %, plus abondants par place. Des plages plus claires s'esquissent nettement lorsque le profil est humide, avec une vague disposition sub-horizontale (ces bandes grises horizontales apparaissent beaucoup plus nettement hors du profil décrit, à plusieurs mètres de là). Ces plages plus claires se renforcent vers la profondeur: les galets inclus dans ces plages ou bandes grisâtres apparaissent comme "lavés" et les cristallins y sont transformés en amas argileux de même teinte ; les quartzites y acquièrent souvent des cortex superficiels, blancs, associés ou non à des zones internes rouille (assez rare). Au contraire, dans les plages rougeâtres, les galets sont patinés et sombres, mais des zones grisâtres, finement organisées, s'y distinguent.
Epaisses faces de pression ou revêtements argileux autour des galets, souvent grisâtres ou gris taché de rouille sous les galets. Limite graduelle et ondulée, irrégulière.

.../...

où les teintes claires (5 Y 6/1 à 5 Y 6/2) l'emportent souvent sur les couleurs plus vives (7,5 YR 6/8 à 5 YR 6/8). Limite inférieure franche et ondulée, par contact ravinant avec la molasse.

380 - 430cm : Horizon marmorisé, fond brun-jaune (10 YR 5/6) à trainées grises à gris-vert subverticales (5 Y 6/2) et revêtements noirâtres autour des agrégats (10 YR 3/1). Argileux. Non calcaire. Structure massive. Quelques mètres plus bas sur le versant de l'Aussonnelle, on observe la molasse non altérée III C, calcaire, surmontée d'un horizon clair très calcaire, massif et cohérent, de quelques dizaines de cm d'épaisseur, qui peut représenter un III C_{Ca}.

III BC_3 g

Analyse (Profil n° 34)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
30 - 50	46,4	6,5	17,7	27,6	20,7	26,1
65 - 80	72,5	11,9	13,0	16,6	14,2	43,4
100 - 110	79,0	11,9	12,1	13,3	12,4	48,8
170 - 190	57,8	16,0	14,2	10,5	14,8	43,5
260 - 280	25,8	31,6	12,8	7,8	12,9	33,9
360 - 380	57,5	46,9	15,9	7,3	10,4	19,0
400 - 410	0	1,9	15,6	14,9	20,3	46,8

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
30 - 50	7,5	6,8	0,8	0,51	0,08	6,0
65 - 80	6,7	5,1	0,3	0,18	0,05	3,2
100 - 110	6,6	5,2	0,3	0,18	0,05	3,6
170 - 190	5,8	4,0	0,2	0,14	0,03	4,0
260 - 280	6,5	4,4	0,08	0,05	0,03	1,5
360 - 380	7,3	5,8	0,01	0,01	0,02	0,4
400 - 410	7,6	6,4	0,14	0,08	0,05	1,5

.../...

Analyse (Profil n° 34 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
30 - 50	11,1	0,27	0,85	0,06	12,3	13,7	89
65 - 80	12,9	0,32	3,5	0,06	16,8	23,7	70
100 - 110	15,3	0,38	4,7	0,16	20,7	26,7	77
170 - 190	17,4	0,32	6,0	0,32	24,2	25,0	96
260 - 280	14,6	0,23	4,8	0,57	20,2	25,0	80
360 - 380	11,9	0,12	3,1	0,54	15,7	19,3	81
400 - 410	19,7	0,32	6,1	0,76	27,0	27,7	97

Prof. cm	Fe %		
	FT	FL	FL/FT %
30 - 50	2,00	0,78	39
65 - 80	4,85	2,34	48
100 -110 (a)	4,95	2,90	58
100 -110 (b)	4,05	2,85	70
120 (c)	0,90	0,56	62
170 -190 (d)	3,12	1,11	35
180 (e)	3,40	1,00	30
180 (f)	1,45	0,50	34
260 -280 (g)	2,31	0,40	17
360 -380 (h)	1,84	0,40	22
400 -410 (i)	3,80	1,60	42

(a) : échantillon total
(b) : plages les plus rouges
(c) : cristallin arénisé et argilisé rouille
(d) : matrice à dominante grise
(e) : cortex argileux gris d'un cristallin intégré
(f) : partie centrale d'un granite altéré gris.
(g) et (h) : plages à dominante grise
(i) : molasse panachée.

Profil n° 35 (4/4/72/3)

Localisation : 31 - Bouet ; X = 1°12' ; Y = 43°42' ;
h = 180m

Site géomorphologique : Haut palier de la terrasse moyenne rive gauche de la Garonne. Plateau légèrement ondulé, pente faible 0,5 %, vers le nord-ouest.

Exploitation biologique : Prairie naturelle, avec quelques Ajoncs d'Europe en bordure.

Classification : Sol lessivé hydromorphe (à sol hydromorphe peu humifère à pseudogley).

DESCRIPTION

0 - 17cm : Brun-gris clair. Limono-sableux. Structure grenue(horizon frais), plus grossière et plus massive en profondeur. Canalicules et gros pores, déjections d'Annélidés. Racines et radicelles dans les 5 à 10 premiers cm surtout. Quelques petits gravillons et rares graviers. Limite inférieure graduelle localement plus franche, ondulée.

Ap et A_1

17 - 30 cm : Brun jaunâtre pâle (10 YR 7/4 à 10 YR 6/4). Limono-sablo-argileux. Structure assez massive, à tendance finement polyédrique plate. Quelques racines et radicelles. Pores et canalicules. Quelques gravillons et graviers. Très localement, rares petits points rouille ou noirs, peu nets. Limite inférieure graduelle, ondulée.

A_{21}

.../...

30 - 45 cm : Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4 à 10 YR 5/4)

A_{22} g

Points ou petites plages rouille à ocre plus nettes et visibles.
Limono-sableux à limono-sablo-argileux.
Structure massive, horizon assez compact.
Quelques radicelles, quelques amas coprogènes. Quelques gravillons. Quelques petites concrétions noires de fer, de l'ordre du mm ou plus petites. Limite inférieure graduelle.

45 - 60 cm : Horizon marmorisé, fond jaunâtre-brun (10 YR 6/6) TRA : 70 %, et plages brun pâle à brun-jaune pâle (10 YR 7/4 à 10 YR 6/4), sans organisation apparente des zones de couleur, limono-sablo-argileux. Structure massive à tendance finement polyédrique, plate. Petits pores et canalicules. Rares radicelles. Limite inférieure, graduelle, assez régulière.

A_{23}g et B_g

60 - 85 cm : Horizon marmorisé, fond jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8) TRA : 50 % et plages grisées, rosâtres ou brunâtres (7,5 YR 7/2 à 10 YR 7/2) sans organisation nette des zones de couleur. Argilo-sableux. Structure massive à tendance polyédrique. Pores et canalicules. Présence de revêtements argileux ocre ou grisâtres autour des éléments structuraux. Quelques rares concrétions noires de fer, rondes et assez tendres. Limite inférieure graduelle mais transition assez rapide, légèrement ondulée.

B_1 tg

85 - 135cm : Horizon marmorisé, mêmes caractères que

.../...

B_2 tg

ceux de l'horizon précédent, mais le contraste de couleur entre plages ocrées et plages grisées est plus vif. Argileux à argilo-sableux. Structure plus nettement polyédrique à fin débit polyédrique, mais restant assez massive dans l'ensemble. Revêtements argileux assez nets autour des agrégats, sur les parois des pores et des canalicules. Quelques concrétions noires de fer et quelques revêtements noirs autour des graviers présents dans la masse, localement plus abondants (petite poche de graviers).

Analyse (Profil n° 35)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
20 - 30	-	7,8	19,5	36,1	14,9	19,9
35 - 45	-	7,4	22,8	34,4	17,5	16,9
50 - 60	-	4,6	18,5	36,0	21,5	17,8
70 - 80	-	3,8	17,6	26,6	19,4	31,5
90 - 100	-	3,6	14,1	23,3	17,6	40,4
120 - 130	-	4,1	15,4	21,7	17,3	41,0

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
20 - 30	6,0	4,7	0,00	0,01	0,9	0,56	0,06	9,0
35 - 45	6,5	5,0	0,00	0,00	0,6	0,39	0,04	8,0
50 - 60	6,6	5,0	0,00	0,00	0,4	0,22	0,03	6,5
70 - 80	6,7	5,1	0,00	0,00	0,4	0,25	0,04	6,3
90 - 100	5,4	3,8	0,01	0,00	0,2	0,16	0,04	3,9
120 - 130	5,3	3,7	0,00	0,00	0,2	0,15	0,04	3,7

.../...

Analyse (Profil n° 35 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %			Al_2O_3 %
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT%	
20 - 30	5,8	0,08	1,3	0,09	7,3	11,5	63	1,50	0,78	52	0,11
35 - 45	5,6	0,08	1,1	0,09	6,8	10,6	64	1,34	0,66	50	0,09
50 - 60	4,7	0,04	0,9	0,12	5,8	10,6	54				
70 - 80	8,0	0,12	2,5	0,22	10,9	14,3	76	1,56	0,94	60	0,14
90 - 100	6,7	0,23	4,4	0,32	11,7	18,9	61				
120 - 130	6,6	0,23	4,3	0,32	11,3	19,7	57				

Profil n° 36 (26/8/72/9)

Localisation : 09 - Les Pujols ; X = 1° 42' ; Y = 43° 5'

h = 330 m

Site géomorphologique : Terrasse de la haute Boulbonne, rive droite de l'Ariège, rive gauche de l'Hers vif. Plateau vallonné à larges surfaces planes. Pente 2 % vers le nord.

Exploitation biologique : Vieille prairie naturelle, Graminées.

Classification : Sol lessivé hydromorphe (sur couverture limoneuse remaniée).

DESCRIPTION

0 - 8 cm

A_{11}

: Brun-gris sombre (10 YR 4/2). Limoneux, riche en matière organique. Structure meuble, nuciforme à granulaire. Chevelu racinaire, amas coprogènes d'Annélidés. Limite inférieure franche ou graduelle et souvent très ondulée, avec infiltration de A_{11} en A_{12}, selon le travail du sol antérieur.

8 - 20 cm

A_{12}

: Fond brun très pâle (10 YR 7/4) avec infiltrations plus organiques brun-gris (10 YR 7/2). Limono-sableux à limoneux. Structure massive à légère tendance polyédrique et feuilletée. Quelques racines et radicelles, quelques amas coprogènes. Limite inférieure graduelle mais passage assez rapide, ondulée.

20 - 95 cm : Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) à plages

.../...

A_2 g puis A_2g et B_1tg	ou points jaunes brunâtres (10 YR 6/6), donnant à l'horizon un aspect légèrement marmorisé qui s'accentue en profondeur. Limono-sableux à limono-argileux, devenant progressivement un peu plus argileux en profondeur. Structure très massive, petits pores et canalicules. Quelques galets, graviers et gravillons. Quelques petites concrétions noires de fer en profondeur, particulièrement au contact de l'horizon sous-jacent et à la faveur d'un petit lit de gravillons. Limite inférieure franche, ondulée, localement par l'intermédiaire d'une petite accumulation de concrétions et de revêtements noirs de fer à la faveur d'une zone gravillonnaire au sommet de la nappe caillouteuse.
95 - 200 cm : II B_2 tg à II BC_1 g	Nappe de galets, graviers et gravillons. Quartz et cristallins essentiellement, quelques schistes fragiles et transformés en amas limoneux ocre. La plupart des cristallins sont altérés, et s'intègrent à la matrice, certains présentant une zone centrale poudreuse, blanche à points ocre ou uniformément rouille. Matrice argileuse, devenant un peu moins fine en profondeur, fond rouge jaunâtre (5 YR 5/6 à 5 YR 5/8) avec marbrures grises (5 YR 6/2) plus ou moins bien exprimées, relativement discrètes, sans organisation très clairement apparente. Revêtements ou faces de pression argileux autour des galets, gris ou rougeâtres panachés de gris, ou ocre. Nombreux petits graviers et gravillons quartzeux anguleux

.../...

ou roulés. Rares petites radicelles. Limite inférieure graduelle, indistincte.

200 - 240cm : Horizon développé dans la nappe de galets, graviers et gravillons, de faciès analogue à celui de l'horizon précédent, avec une matrice un peu moins argileuse, plus ocre.

II B[illegible]g

Analyse (Profil n° 36)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 20	0	15,1	23,5	27,2	18,4	12,4
60 - 80	0	9,9	20,4	24,7	25,1	18,4
160 - 180	49,0	16,1	13,9	10,1	13,3	46,0
220 - 240	37,3	19,9	13,4	11,4	18,9	36,1

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
10 - 20	6,4	5,2	2,6	1,5	0,14	10,1
60 - 80	7,3	5,7	0,5	0,3	0,04	7,0
160 - 180	6,6	5,2	0,3	0,17	0,03	5,0
220 - 240	6,0	4,9				

.../...

Analyse (Profil n° 36 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	$\frac{FL}{FT}$ %
10 - 20	5,3	0,02	0,65	0,06	6,0	8,9	67	1,06	0,61	57
60 - 80	12,6	0,02	0,30	0,09	13,0	8,6	sat.	1,39	0,78	56
160 - 180	11,7	0,12	2,9	0,35	15,0	19,4	77	3,70 (a)	1,95	52
220 - 240								3,98 (a)	2,12	53

(a) échantillon global

Profil n° 37 (12/8/72/1)

Localisation : 31 - Cornebarrieu ; X = 1° 20' ; Y = 43° 38'
h = 170 m

Site géomorphologique : Sommet du talus interne de la moyenne terrasse rive gauche de la Garonne. A l'emplacement du profil, pente de 5 à 6 % vers le nord-est, devenant beaucoup plus forte sur le talus lui-même.

Exploitation biologique : Jachère, bordure enherbée.

Classification : Sol lessivé hydromorphe.

DESCRIPTION

0 - 25 cm Ap	: Brun-gris. Limoneux à limono-sableux. Structure granulaire en surface devenant massive en profondeur. Quelques racines et radicelles. Graviers et galets très nombreux. TRA : 20 à 60 %. Limite inférieure très irrégulière, graduelle ou assez franche, selon la disposition des éléments caillouteux.
25 - 60cm A_2	: Brun-pâle (10 YR 6/3). Limono-sableux à limoneux. Structure massive à tendance feuilletée. Très caillouteux, TRA : 30 à 60 %, graviers et galets. Quelques radicelles. Limite inférieure assez franche, par apparition du faciès à graviers et petits galets, ondulée.

.../...

60 - 115 cm : II B_1tg
Nappe de galets à nombreux graviers et gravillons interstitiels, TRA : 50 à 80 %. Quartz, quartzites, schistes, cristallins. Les galets sont patinés, schistes généralement poudreux, cristallins plus ou moins intégrés à la matrice. La taille des galets est un peu plus faible que celle des éléments de A_2 et A_p. Matrice brun à brun-rouge (10 YR 4/4 à 5 YR 4/4), argileuse, structure massive. Quelques concrétions noires de fer, revêtements noirs autour des galets, TRA très variable. Revêtements argileux et faces de pression autour des galets. Localement, là où les graviers sont abondants, l'horizon est riche en concrétions et revêtements noirs avec graviers épigénisés par le fer, et offre un aspect consolidé. Limite inférieure généralement graduelle, assez franche lorsque la charge de graviers diminue rapidement en profondeur.

115 - 180cm : II B_2 tg à II BC g
Nappe de galets, moins chargée en graviers, TRA : 50 à 70 %, nombreux cristallins très altérés, généralement en bonne voie d'intégration à la matrice. Matrice brun-rouge, argileuse. Nombreux revêtements ou faces de pression autour des galets, dont certains sont brun-gris bleutés,(face inférieure des galets), donnant un faciès local marmorisé à la matrice. Quelques rares revêtements noirs, surtout en profondeur.

Analyse (Profil n° 37)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
30 - 40	40,9	7,0	23,3	29,9	18,2	20,9
75 - 85	81,5	16,0	19,3	15,7	16,2	38,0
160 - 170	63,6	16,2	16,1	10,4	13,8	42,6

Prof. cm	Ph		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
30 - 40	5,8	4,7	0,01	0,01	0,6	0,36	0,05	6,4
75 - 85	6,1	4,6	0,00	0,01	0,4	0,26	0,06	4,0
160 - 170	5,2	3,7	0,00	0,00	0,2	0,16	0,04	3,7

.../...

Analyse (Profil n° 37 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT%
30 - 40	3,9	0,10	1,1	0,03	5,3	10,4	50	1,39	0,66	48
75 - 85	8,3	0,21	3,0	0,06	11,6	18,1	64	3,90	1,98	51
160 - 170	11,6	0,23	4,4	0,22	16,5	25,1	65	4,27	2,42	57

Profil n° 38 (23/8/71/3)

Localisation : 31 - Forêt de Bouconne ; X = 1°12' ; Y = 43°37'
h = 235 m

Site Géomorphologique : Haute terrasse rive gauche de la Garonne. En bordure d'un vallon, pente 1 % vers le sud.

Exploitation biologique : Forêt de Bouconne : Chêneraie pubescente acidiphile, à Sarothamne et Ciste à feuilles de Sauge dans les zones clairières, Callune présente. Secteur de carrière.

Classification : Sol lessivé hydromorphe (sur couverture limoneuse fortement remaniée).

DESCRIPTION

0 - 30 cm
Ap
: Brun pâle (10 YR 6/3). Limono-sableux. Structure massive, se résolvant en agrégats à faible tendance polyédrique, aplatis et peu cohérents. Racines et radicelles assez nombreuses. Quelques amas coprogènes. Pores et canalicules. Eléments caillouteux TRA : 10 %, dont galets de 5 à 7 cm de longueur, représentant 5 à 10 % du TRA. Limite inférieure graduelle, ondulée, assez peu distincte.

30 - 55 cm
A_2 g et B_1tg
: Brun clair jaunâtre (10 YR 6/4). Limono-sablo-argileux. Structure massive à légère tendance polyédrique, localement plus nette.

.../...

Radicelles et racines assez nombreuses. Petits pores et canalicules de 1/10 à 1 mm de diamètre. Quelques revêtements argileux légèrement brillants à la surface des agrégats. Graviers, gravillons et petits galets, TRA : 5 à 10 %. Quelques revêtements noirs de fer autour des graviers et agrégats avec quelques concrétions tendres foncées limono-ferrugineuses (agrégats épigénisés), surtout en profondeur de l'horizon, localement plus abondantes au contact de la nappe caillouteuse inférieure. Par endroit sur la coupe, bande sub-horizontale claire au contact des cailloux sous-jacents, avec concrétions et revêtements noirs assez abondants. Limite inférieure généralement franche ondulée et irrégulière, avec présence locale de poches.

55 - 210 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 30 à 50 % en surface, 60 à 70 % en profondeur ; longueur moyenne des galets 4 à 5 cm avec environ 5 à 10 % en TRA des éléments supérieurs à 10 cm, pour la moitié supérieure de l'horizon ; longueur moyenne des galets 6 à 8 cm pour la partie inférieure de l'horizon. Essentiellement quartz et quartzites, rares cristallins très délabrés, quelques schistes pulvérulents. L'ensemble des galets apparaît comme patiné et assombri, exception faite de ceux qui sont englobés dans une matrice claire. Les rares cristallins sont très intégrés à la matrice, avec parfois un coeur clair sablo-argilo-graveleux. Les cortex blancs des quartzites sont assez fréquents, les cortex rouille externes présents dans les matrices colorées, lee cortex rouille internes exceptionnels.

II B_2 tg

à II BC_1g

.../...

La matrice est dans l'ensemble argileuse, l'aspect général est celui d'un horizon rubéfié, à couleur de fond jaune-rouge (7,5 YR 6/6 à 7,5 YR 6/8) surtout dans la partie supérieure de l'horizon, ou rouge jaunâtre (5 YR 4/8) par place, particulièrement dans la partie inférieure de l'horizon. L'ensemble est parcouru de bandes sub-horizontales grisées et claires (10 YR 7/2 à 10 YR 7/3) de quelques cm d'épaisseur, atteignant localement 10 cm, et apparaissant tous les 10 à 20 cm dans l'horizon. La texture de ces bandes est généralement argileuse mais localement, en particulier au sommet de l'horizon, leur faciès est poudreux. Par endroit, les bandes s'anastomosent se recoupent ou se relient par des bretelles obliques ou sub-verticales. Dans le détail, ces bandes claires sont hétérogènes et panachées d'ocre-rouge ou de noir au contact des galets (ou dans la masse, parfois). Revêtements argileux épais ou faces de pression autour des galets, avec localement revêtements noirs et parfois concrétions noires rondes de quelques mm de diamètre. Dans la partie inférieure de l'horizon, à partir de 100 cm environ, les revêtements argileux ou faces de pression inférieurs des galets sont plus souvent à dominante grise que bariolés, un cortex blanc se développant alors assez souvent à la face inférieure des quartzites. Limite inférieure très graduelle, indistincte.

.../...

210 - 270cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 50 à 70 %, caractères généraux assez proches des précédents, mais différant quelque peu pour la matrice. Celle-ci, toujours argileuse, montre un fond ocre à brun-jaune (7,5 YR 5/8 à 10 YR 5/8) localement plus brun (10 YR 5/3). Les bandes horizontales ont fait place à de larges zones grisâtres à verdâtres (2,5 Y 6/2 à 5 Y 5/3) qui représentent environ 30 % du TRA, et qui correspondent souvent aux épais enduits argileux ou faces de pression(inférieures surtout) des galets. Par endroit, revêtements noirs autour des galets ou dans la matrice, représentant 10 à 20 % du TRA. Limite inférieure graduelle, très indistincte.

II BC_2 g

270 - 320cm : Nappe de galets, graviers et gravillons TRA : 40 à 60 %. La taille moyenne des galets est un peu plus réduite que dans les horizons précédents. Les cristallins sont plus abondants que plus haut; très altérés et intégrés à la matrice, avec assez souvent un coeur blanc sablo-argileux poudreux ou parfois encore très légèrement cohérent. L'ensemble de l'horizon est très bigarré, avec plages ocre ou orangées, plus ou moins rougeâtres (TRA : 30 à 40 %), plages claires grises ou pâles (TRA : 30 à 40 %), zones de revêtements noirs et plages blanches (ensemble, TRA : 30 %). La matrice est moins argileuse, à tendance sablo-argileuse à argilo-sableuse. Par endroit, petites plages orangées sablo-limoneuses (schistes

II BC_3 g

.../...

altérés). Localement, lentille sableuse ocre. Limite inférieure graduelle, très indistincte.

320 - 430cm : Horizon proche du précédent, légèrement moins caillouteux (TRA : 30 à 50 %) mais riche en débris d'éléments fragiles : cristallins, schistes. Matrice bigarrée argilo-sableuse à sablo-argileuse.

II BC_4 g

Analyse (Profil n° 38)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 25	11,5	3,6	13,4	33,5	22,1	23,4
40 - 50	12,9	3,6	31,5	32,9	22,2	27,9
55 - 80	44,7	4,7	9,7	23,5	18,0	42,3
160 - 170	52,1	8,2	9,5	12,7	12,4	55,5
240 - 250	41,0	12,6	16,1	11,4	14,0	44,1
280 - 300	63,6	23,3	19,1	8,6	13,6	34,4
340 - 360	67,5	17,2	18,4	11,2	15,6	36,6

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
15 - 25	4,5	3,9	1,5	0,91	0,06	14,0
40 - 50	4,7	3,9	1,1	0,66	0,05	11,8
55 - 80	4,3	3,7	0,8	0,51	0,05	9,1
160 - 170	4,7	3,5	0,7	0,44	0,04	9,0
240 - 250	5,9	4,4	0,9	0,54	0,04	13,2
280 - 300	7,0	5,8	0,4	0,28	0,03	9,1
340 - 360	7,5	6,5	0,5	0,34	0,03	9,6

.../...

Analyse (Profil n° 38 -suite-)

Prof.	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
cm	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %	FT	FL	FL/FT %
15 - 25	0,21	0,1	0,15	0,03	0,5	8,4	5	1,84	0,78	42
40 - 50	0,35	0,12	0,75	0,03	1,3	8,9	14	2,28	1,28	56
55 - 80	0,35	0,23	2,8	0,06	3,4	14,8	22	3,32	1,78	53 (b)
70 - 75 a								3,01	1,22	40 (a)
160 - 170	4,7	0,21	4,9	0,19	10,1	21,9	45	4,85	3,18	65 (b)
240 - 250	14,6	0,21	5,0	0,60	20,4	23,0	88	3,85	2,65	68 (b)
280 - 300	14,4	0,14	3,9	0,73	19,2	21,0	91	3,45	2,51	72 (b)
340 - 360	15,1	0,21	4,0	0,76	20,1	20,9	96	3,40	3,07	90 (b)

(a) Bande grise

(b) Echantillon global ouà dominante rubéfiée.

Profil n° 39 (19/8/71/1)

Localisation : 31 - Brax ; X = 1° 15' ; Y = 43° 37' ;
h = 190m

Site géomorphologique : Moyenne terrasse rive gauche de la Garonne ; légère pente vers le sud-est, de l'ordre de 0,5 %.

Exploitation biologique : Jachère enherbée ; secteur de lotissement.

Classification : Sol hydromorphe peu humifère à pseudogley (à profil de sol lessivé).

DESCRIPTION

0 - 15cm A_p : Gris-brun. Limono-sableux à sablo-limoneux. Horizon tassé, structure massive à localement granulaire. Racines et radicelles. Quelques galets dont certains cassés, graviers. Limite inférieure graduelle, ondulée

15 - 30 cm A_2 g : Brun très clair (10 YR 7/3) à mouchetures rouille clair, radicelles gainées de rouille (10 YR 6/6 à 7,5 YR 6/8) à limites nettes. Sablo-limoneux à limono-sableux. Structure massive à tendance feuilletée, quelques rares fissures verticales minces. Quelques gravillons, graviers ou rares galets. Quelques racines, radicelles. Limite inférieure graduelle, ondulée, passage assez rapide.

30 - 45 cm B_1 tg : Horizon marmorisé, fond brun jaunâtre (10 YR 5/6) avec plages claires (10 YR 7/3)

.../...

ou rouille clair (10 YR 7/6) et points ou petites zones sombres (10 YR 3/4), représentant un TRA de 20 à 40 % du fond brun. Argilo-sablo-limoneux. Structure assez massive à tendance polyédrique plate. Assez nombreux petits pores. Ebauche (peu nette) de revêtements argileux autour des agrégats Quelques petites concrétions noires assez tendres de fer, diamètre de l'ordre du mm (TRA : 0,5 à 1 %). Quelques fentes subverticales minces, plus nettes. Quelques graviers, rares galets. Limite inférieure graduelle, ondulée.

45 - 75 cm : Horizon marmorisé, avec zones brun sombre à marron (10 YR 4/3) revêtant plus ou moins

B_2 tg

l'aspect de traînées à tendance verticale, TRA : 20 %, des plages plus ou moins rouille (10 YR 5/8) TRA : 40 à 50 %, des plages à enduits noirs autour des agrégats ou graviers et des concrétions noires (diamètre de 1 à 4 mm), TRA : 10 à 15 %, quelques zones claires (10 YR 6/3), TRA : 5 %. Argileux. Structure polyédrique, localement tendance prismatique, fendillé. Nombreux petits pores et fins canalicules. Revêtements argileux brillants nets autour des polyèdres qui se résolvent en petits éléments polyédriques de l'ordre du cm, sur les parois des pores etc. Traces d'activité biologique : canalicules emplis de limon coprogène. Quelques graviers et galets. Limite inférieure graduelle, ondulée.

.../...

75 - 90 cm : Ibidem horizon précédent, mais zones claires grisées plus abondantes (TRA : 10 à 15 %), concrétions noires plus grosses et revêtements noirs plus larges, plus abondants, regroupés localement en plaques (TRA : 30 %). Les plages grisâtres ont tendance à s'organiser en traînées verticales recoupées par des éléments sub-horizontaux. Graviers et galets sont un peu plus abondants, TRA : 5 à 10 %. Limite inférieure généralement franche, ondulée et irrégulière.

B_3 tg

90 - 115cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 60 %, les galets de plus de 5 cm de long représentent 30 % du TRA. Quartz, quartzites, débris de cristallins, quelques éléments gréseux ou schisteux très altérés. Les galets sont patinés, mais plus propres dans les plages grises. Matrice argileuse à graviers et gravillons, fond brun-ocre (7,5 YR 5/6 à 7,5 Y 6/8) à rougeâtre (5 YR 5/4), TRA : 60 à 70 % avec zones claires grisées (7,5 YR 6/2) à vague organisation sub-horizontale dominante, correspondant surtout aux épais revêtements argileux (ou faces de pression) des faces inférieures des galets. Quelques revêtements et épigénisations noirs de fer autour des galets. Structure massive d'ensemble, à débit polyédrique fin donné par les graviers et gravillons. Limite inférieure graduelle et ondulée.

II B_4 tg

.../...

115 - 160 cm II B_5 tg à II BC g	: Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 60 à 80 %, les galets de plus de 5 cm de long sont assez rares (TRA : 5 %). Quartz, quartzites, cristallins, quelques lydiennes et schistes poudreux ocre. Les cristallins, souventbien intégrés à la matrice, montrent parfois une zone corticale blanche, sablo-argilo-graveleuse, mais s'intégrant à la matrice argileuse et une zone centrale rouille Matrice ocre à rougeâtre, nuancée dans le détail, avec zones de revêtements noirs autour des galets ou dans la matrice (TRA 10 à 20 %) et plages grises plus nettes et plus abondantes au sommet et en profondeur de l'horizon, surtout à la face inférieure des galets, sous forme de gros revêtements, ou faces de pressions où apparaissent également des teintes noires ou ocre. Matrice argileuse. En profondeur, la taille des galets augmente quelque peu, certains atteignant une dizaine de cm.

Analyse (Profil n° 39)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 30	3,5	4,7	14,5	41,2	19,3	18,5
35 - 45	0	2,1	9,7	31,5	19,8	36,0
50 - 60	0	2,4	9,4	25,3	17,1	44,9
80 - 90	27,1	6,0	8,5	25,1	17,4	41,9
100 - 115	80,2	11,3	7,9	15,6	13,5	51,1
130 - 140	71,9	15,8	11,8	12,5	12,3	46,9

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
15 - 30	6,2	5,1	0,01	0,02	0,8	0,48	0,05	8,5
35 - 45	6,5	5,1	0,00	0,01	0,4	0,26	0,04	5,3
50 - 60	6,1	4,8	0,00	0,01	0,3	0,17	0,04	3,7
80 - 90	6,0	4,5	0,00	0,01	0,1	0,08	0,05	1,7
100 - 115	6,0	4,5	0,00	0,01	0,1	0,10	0,04	2,5
130 - 140	6,3	4,8	0,00	0,01	0,1	0,07	0,04	1,8

.../...

Analyse (Profil n° 39 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %						
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%
15 - 30	3,9	0,08	1,1	0,09	5,2	7,6	68
35 - 45	7,1	0,17	3,6	0,19	11,1	14,4	77
50 - 60	10,4	0,23	6,3	0,38	17,5	21,7	81
80 - 90	9,8	0,19	5,9	0,41	16,4	21,6	75
100 - 115	14,4	0,27	7,5	0,64	22,9	25,5	89
130 - 140	16,0	0,25	6,8	0,64	23,8	25,5	93

Prof. cm	Fe %			Al_2O_3 %
	FT	FL	FT/FL %	
15 - 30	1,50	0,75	50	0,13
35 - 45	2,84	1,34	47	0,18
50 - 60	3,40	1,70	50	0,28
80 - 90	4,07	2,51	62	0,16
100 - 115 (a)	4,35	2,17	50	
130 - 140 (b)	4,50	2,65	53	
130 - 140 (c)	4,01	1,78	44	

(a) : échantillon total

(b) : échantillon total

(c) : zones grises

Profil n° 40 (23/8/71/2)

Localisation : 31 - Fontenilles ; X = 1° 13' ; Y = 43° 33' ; h = 205 m

Site géomorphologique : Terrasse moyenne rive gauche de la Garonne, surface plane.

Aspect de surface : Plateau très plan, à drainage externe très médiocre, tapissé de boulbènes claires, localement caillouteux en surface ; quelques petites mouillères par place.

Exploitation biologique : Jachère à Ajonc d'Europe sur les bordures.

Classification : Sol hydromorphe peu humifère, à accumulation de fer.

DESCRIPTION

0 - 25cm Apg : Brun-gris à brun très pâle (10 YR 7/2 à 10 YR 7/3), avec gaines rouille autour des racines et points rouille et noirs (TRA : 5 à 15 %). Limoneux à limono-sableux. Structure massive, à tendance feuilletée, agrégats peu cohérents. Graviers et petits galets présents, TRA : 5 %. Quelques racines et radicelles. Limite inférieure graduelle, légèrement ondulée.

25 - 45 cm A_2g et B_1 tg : Horizon marmorisé, fond brun très pâle (10 YR 7/3), TRA : 40 à 50 %, et zones ocre-rouille (7 YR 7/6), TRA : 20 à 40 % avec plages de revêtements noirs et concrétions noires; Limoneux à limono-argilo-sableux. Quelques graviers et petits galets. Rares racines ou radicelles. Structure

.../...

massive. Apparemment pas d'organisation claire. de la marmorisation. Les concrétions sub-sphériques, de l'ordre de 1 à 8 mm, sont plus abondantes et plus dures au contact de l'horizon inférieur. Limite inférieure généralement franche, suivant le sommet de l'alluvion graveleuse, ondulée et irrégulière le long de la coupe.

45 - 65 cm : Horizon induré concrétionné par le fer ; sommet de la nappe caillouteuse, graviers,

II B_{Fe}-g gravillons et petits galets, TRA : 50 à 70 % Aspect de poudingue, brisable au piochon ou à la main si humide, discontinu et passant latéralement à des faciès un peu moins indurés ou moins épais, selon le relief du sommet du cailloutis. Couleur d'ensemble foncée (10 YR 3/2) mais zones claires, beige (10 YR 7/3 à 10 YR 6/4) à organisation sub-horizontale, surtout dans les 10 centimètres supérieurs, ou concentriques autour des graviers et galets. L'aspect général est celui de graviers, gravillons et petits galets (généralement quartz et quartzites) épigénisés et revêtus par des enduits noirs ferrugineux, cimentés par une pâte foncée striée de zones claires, où s'observent des concrétions autonomes, sub-sphériques, dures, de diamètre variable : quelques mm à 1 ou 2 cm, qui sont parfois en fait des gravillons épigénisés. Vers la profondeur, l'horizon apparaît moins compact, moins induré, plus marmorisé (zones et stries ocre et rouille associées aux plages grisées). Limite inférieure graduelle mais transition rapide.

.../...

65 - 95 cm II B tg et II BC g	: Nappe de galets, graviers et gravillons. Très marmorisé. Quartz, quartzites, cristallins rares et intégrés ou en voie d'intégration à la matrice. Revêtements argileux autour des galets. Matrice argilo-sableuse bariolée à langues claires sub-verticales et sub-horizontales dans un fond ocre-rouille, revêtements noirs autour des galets ou dans la matrice. Au sommet de l'horizon, revêtements noirs et concrétions sont plus abondantes, constituant un horizon de transition II B_2 Fe g. Horizon très humide où l'eau suinte et s'accumule sur le plancher de la fosse.

Analyse (Profil n° 40)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 20	9,9	8,6	9,9	28,6	31,2	19,6
35 - 45	7,8	9,0	9,8	27,8	27,3	24,2
50 - 70	49,1	20,4	12,6	9,8	25,7	28,7

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
10 - 20	5,4	4,4	1,7	1,0	0,10	9,7
35 - 45	5,3	4,4	1,0	0,60	0,70	8,1

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	FL/FT %
10 - 20	2,0	0,10	0,35	0,03	2,6	8,4	30	1,56	0,78	50
35 - 45	2,2	0,10	0,56	0,03	2,8	8,9	31	1,73	0,82	47
50 - 70								16,18	8,42 (a) 7,08 (b)	52

(a) : 4 attaques

(b) : 3 attaques

Profil n° 41 (31/8/71/6)

Localisation : 31 - Montréjeau ; X = 0° 35' ; Y = 43° 6' ; h = 452 m

Site géomorphologique : Haute terrasse de Montréjeau et de St-Gaudens, rive gauche de la Garonne. Légère pente 0,5 % vers l'est, s'accentuant peu à peu avec la proximité du rebord de la terrasse.

Exploitation biologique : Jachère enherbée, zone de lotissement et bordure dé route.

Classification : Sol hydromorphe peu humifère à accumulation de fer.

DESCRIPTION

0 - 40 cm Ap g puis A_2 g à A_2g et B_{tg}	: Brun pâle (10 YR 6/3), grisâtre en surface, à taches rouille de plus en plus nettes avec la profondeur. Limono-sableux un peu plus argileux en profondeur mais sans revêtements argileux visibles. Structure massive, motteuse en surface, tendance légèrement feuilletée. Quelques galeries biogènes vides ou emplies de limon un peu plus sombre. Quelques graviers et petits galets. En profondeur, quelques petites concrétions noires de fer, 1 à 5 mm de diamètre. Latéralement cet horizon passe à un A_2g superposé à un B_1 tg plus marmorisé, plus argileux, avec quelques concrétions noires de fer, descendant jusqu'à 50 ou 60 cm de profondeur. Limite inférieure franche, légèrement ondulée, au-dessus de II B_{Fe}g, moins franche

.../...

- -

et nette en l'absence de II B_{Fe} g.

40 - 65 cm II B_1 Fe g	: Horizon induré concrétionné par le fer ; sommet de la nappe de galets, graviers, gravillons, ici riche en petits éléments TRA : 60 à 80 % avec dominance de gravillons et graviers. Horizon dur et compact, plus meuble et fragile lorsqu'il est humide, devenant plus lâche et moins soudé en profondeur. Très discontinu dans l'espace, apparaissant sous forme de lentilles, passant un peu plus loin sur la coupe à un horizon II B tg enrichi en fer. L'horizon induré est très panaché : fond brun à brun clair, plus clair et plus gris à l'état sec (7,5 YR 6/2) à plages rouille (7,5 YR 6/8) et larges zones noires (7,5 YR 2/0), ces dernières représentant un TRA de 20 à 50 %. Au contact des zones grises, les graviers apparaissent "propres". Pas d'organisation très nette des zones de couleur. Limite inférieure graduelle, ondulée.
65 - 75 cm II B_2 Fe g	: Prolongement de l'horizon précédent : moins riche en gravillons et petits graviers, plus chargé en galets de 3 à 5 cm de longueur, certains beaucoup plus longs. Nombreux revêtements noirs, graviers et galets épigénisés par le fer, concrétions plus ou moins dures. Matrice relativement meuble, argileuse, bariolée à larges revêtements de noir et d'ocre, passant progressivement mais assez rapidement à l'horizon suivant.

.../...

75 - 180 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, riche en gros éléments, certains atteignant 20 à 25 cm, TRA : 60 à 70 %. Quartz quartzites, cristallins, quelques schistes et éléments de flysch cénomanien. L'essentiel des cristallins est altéré, parfois totalement argilisé et intégré à la matrice souvent avec zone centrale encore bien conservée mais très altérée et pourtour argilisé et intégré à la matrice sans limite nette ;certains cependant, assez rares, offrent encore un coeur dur et difficile à briser au marteau, avec un cortex blanchi ou rouille, selon la matrice externe, meuble et sablo-argileux. Les quartzites, selon leur position dans la matrice bariolée, présentent de légers cortex blancs mêlés ou non de rouille, ou des cortex rouille, ou des patines rouges ou grises. Par endroit, plages sableuses orangées, signalant l'altération locale d'éléments schisteux. La matrice est argileuse à argilo-sableuse, très bariolée : couleur de fond rouge à ocre (2,5 YR 4/8 à 5 YR 5/8), à larges bandes grises (5 YR 6/2 à 5 YR 7/1) à organisation horizontale générale, anastomosées ou non et reliées par des bretelles verticales ou obliques de même couleur, zébrant aussi bien les galets (qui apparaissent alors "lavés") que la matrice elle-même. Nombreux et épais revêtements argileux ou faces de pressions autour des galets, souvent gris et un peu plus nombreux alors à la face inférieure des galets. Limite inférieure très graduelle, passage progressif à un horizon de faciès voisin.

II B_3 tg
à
II BC_1g

.../...

- -

180 - 280cm : Nappe de galets, graviers et gravillons assez riche en gros éléments. Faciès assez proche de l'horizon précédent, mais bariolage de la matrice plus confus, organisation sub-horizontale des zones de couleur bien moins marquée. Le fond rouge tend à devenir assez nettement plus ocre, tandis que la matrice devient moins argileuse avec la profondeur. Localement, lentilles sableuses ocre (vers 280cm). A 100 m de là, le socle cénomanien de flysch apparaît à 5 m environ sous la surface en forte pente du rebord de la terrasse (flysch décalcarisé et disloqué).

II BC_2 g

Analyse (Profil n° 41)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
40 - 65	-	21,0	16,7	11,8	19,3	29,9
115 - 125	34,0	32,1	17,9	5,5	11,5	31,7
160 - 180	23,7	28,6	15,9	3,1	10,3	40,1

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
40 - 65	7,2	5,9	0,01	0,00	0,4	0,25	0,06	3,8
115 - 125	7,1	5,8	0,00	0,00	0,2	0,14	0,05	2,6
160 --180	6,9	5,3						

.../...

Analyse (Profil n° 41 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %	FT	FL	FL/FT%
40 - 65	6,4	0,06	0,25	0,09	6,9	14,1	48	9,80		
115 - 125	8,6	0,06	1,0	0,09	9,8	18,5	52	4,85 (a)	3,96	81
160 - 180								3,77 (a)	2,80	74

(a) : Matrice à dominante rouge ou ocre.

Profil n° 42 (12/12/71/1)

Localisation : 31 - Estantens ; X = 1° 20' ; Y = 43° 24'
h = 285 m

Site géomorphologique : Lambeau de haute terrasse rive gauche de l'Ariège (lieu-dit "la Forêt"). Etroite langue de plateau, en bordure de vallon, pente 2 à 5 % vers le sud-est.

Exploitation biologique : Taillis (avec quelques porte-graines) de Chênes pubescents acidiphiles, à sous-bois de Ronces, Chèvrefeuille, avec Genêt à balais, Ajonc d'Europe et Ciste à feuilles de Sauge dans les zones clairières.

Classification : Sol lessivé podzolique.

DESCRIPTION

3 - 0 cm : Litière non tassée, feuilles de Chênes pubescents et débris Ligneux, fraîche en surface, de plus en plus décomposée avec la profondeur ; racines et tiges rampantes vivantes tramant l'ensemble ; devenant plastique en profondeur et passant à un très mince Ao très discontinu, de quelques mm d'épaisseur, de structure granulaire non fibreux, avec petits quartz (sables) propres dans la masse, faciès de mull olitrophe à mull-moder.

0 - 3 cm : Gris-brun sombre (10 YR 3/2). Sableux. Structure granulaire, horizon souple, petits

A_{11} sables quartzeux propres dans la masse. Parcouru de racines et tiges rampantes. Limite inférieure très ondulée, irrégulière, horizon discontinu.

.../...

3 - 20 cm

A_{12} et A_{21}

: Brun-jaune très pâle (5 Y 6/3). Limono-sableux à sablo-limoneux. Structure massive à débit motteux grossier ou légèrement polyédrique non consistant ; localement (spots plus secs, au contact de A_{11}) poudreux et particulaire, faciès légèrement cendreux. Racines, dont quelques grosses de Chênes pubescents. Quelques gros pores (5 mm de diamètre), petits pores peu nombreux. Quelques zones plus sombres infiltrées de matière organique au sommet. Quelques petits graviers de quartz. Limite inférieure graduelle, ondulée.

20 - 45 cm

A_{21g} et $B_{11}tg$

: Brun-jaune (5 Y 6/4), aspect très légèrement marmorisé se renforçant en profondeur, avec taches rouille d'aspect flou (5 Y 6/8). Limoneux. Structure moyennement polyédrique, peu consistante, devenant un peu plus fine en profondeur, avec augmentation du caractère argileux. Petits pores moyennement nombreux. Radicelles et grosses racines. Limite inférieure graduelle, ondulée.

45 - 75 cm

$B_{12}tg$

: Horizon déjà assez nettement marmorisé, avec fond brun clair (10 YR 6/3) et zones plus claires et points rouille ou taches rouille (TRA : 5 à 10 %), quelques points ou taches noires. Limono-sablo-argileux. Structure assez finement polyédrique. Quelques revêtements argileux mais assez difficile à distinguer. Petits pores assez nombreux. Quelques graviers de quartz. Limite inférieure graduelle, ondulée.

.../...

75 - 100cm : Horizon marmorisé, fond brun ocré (10 YR 5/6) avec zones grises ou ternes (7,5 YR 6/2 à 10 YR 6/2), TRA : 20 à 40 %. Argilo-limoneux. Structure finement polyédrique. Revêtements argileux présents mais difficiles à distinguer. Assez fréquemment, éléments d'allure coprogène (amas cylindriques allongés entre ou dans les polyèdres). Taches noires et taches rouille par place. Pores peu nombreux. Nombreux petits gravillons, assez rares graviers.

B_2 tg

Analyse (Profil n° 42)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
0 - 3	0	6,4	15,0	31,3	17,4	20,9
5 - 15	0	7,5	17,2	30,0	18,7	21,8
20 - 35	0	6,1	12,9	28,4	24,1	26,0
50 - 60	0	4,3	11,2	23,5	21,4	37,6
80 - 100	0	2,9	11,6	18,6	18,5	47,2

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
0 - 3	5,0	3,9	0,02	0,04	7,9	4,6	0,33	13,8
5 - 15	4,6	3,6	0,00	0,01	3,5	2,0	0,11	17,5
20 - 35	4,9	3,7	0,00	0,00	1,8	1,0	0,08	12,4
50 - 60	5,5	3,6	0,00	0,00	1,1	0,64	0,06	9,8
80 - 100	5,1	3,5	0,00	0,00	0,54	0,31	0,05	6,2

.../...

Analyse (Profil n° 42 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %	FT	FL	FL/FT%
0 - 3	4,8	0,34	1,8	0,09	7,1	15,7	45	1,56	0,44	28
5 - 15	0,42	0,08	0,55	0,06	1,1	11,5	9	0,67	0,33	50
20 - 35	0,85	0,08	1,4	0,12	2,5	11,6	21	2,23	0,83	37
50 - 60	2,9	0,17	3,4	0,25	6,8	16,3	41	3,07	0,78	24
80 - 100	8,1	0,27	6,8	0,44	15,7	23,0	68	3,90	1,39	36

VIII.- SOLS A HORIZONS CAILLOUTEUX PROFONDS RUBEFIES, ARGILISES ET COLMATES DES NAPPES ALLUVIALES CULMINANTES.

- Couverture limoneuse à caractère de sol lessivé hydromorphe
  Profil n° 43

- Couverture limoneuse à caractère glossique
  Profils n° 44-45-46-47

Profil n° 43 (10/9/71/1)

Localisation : 82 - Escazeaux ; X = 1° 2' ; Y = 43° 51' ;
h = 250 m

Site géomorphologique : Plateau de Lomagne, longs interfluves tendus, légèrement inclinés vers le nord-est, séparés par des vallons. Au profil, pente de 2 à 3 % vers le nord-est, à proximité d'un versant qui s'amorce.

Exploitation biologique : Jachère locale, secteur de carrière.

Classification : Sol lessivé hydromorphe (sur couverture limoneuse rajeunie).

DESCRIPTION

0 - 8 cm Ap : Brun-gris. Limono-sableux. Structure assez massive, granulaire à nuciforme au sommet. Nombreux petits pores et fins canalicules. Racines et lacis de radicelles. Amas coprogènes, quelques galeries biogènes, se poursuivant en profondeur. Gravillons, graviers et petits galets présents, TRA : 2 à 5 %. Limite inférieure généralement graduelle, ondulée.

8 - 25 cm A_2 : Brun-gris clair (10 YR 6/2 à 10 YR 7/3). Limono-sableux. Structure massive. Petits pores et canalicules. Racines et radicelles moins nombreux. Gravillons, graviers, quelques petits galets, TRA : 5 % variable. Limite inférieure généralement assez franche, ondulée.

25 - 40 cm B_1 tg : Brun clair (10 YR 6/3 à 7,5 YR 6/4). Argilo-limono-sableux. Structure à tendance finement polyédrique. Quelques racines et radicelles, localement plus abondantes.

.../...

Graviers, gravillons, petits galets, abondants ; TRA : 20 à 30 %. Pores et canalicules fins. Revêtements argileux brillants assez nets autour des agrégats, des graviers dans les pores. Quelques amas coprogènes. Concrétions de fer noires, rondes, de 1 à 10 mm de diamètre, TRA : 5 à 10 %. Limite inférieure graduelle mais transition le plus souvent rapide par augmentation de la charge grossière, ondulée.

40 - 70 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 30 à 40 %, la taille des galets (plus

II B_2 tg abondants qu'au-dessus par rapport aux graviers et gravillons) est un peu plus forte de l'ordre de 3 cm de longueur moyenne ; aspect bien roulé, les quartz représentent près de 70 % des éléments. Matrice argileuse à argilo-sableuse, marmorisée à plages brunes claires (10 YR 7/3) et zones plus vives (7,5 YR 6/6 à 10 YR 6/4) qui se renforcent en profondeur (plus larges et plus vivement colorées). Revêtements d'argile brun-jaune apparents autour des galets et des éléments structuraux (structure à tendance finement polyédrique). Revêtements noirs dans et sur les agrégats ou les galets, par place, et concrétions de fer rondes, 0,5 cm de diamètre, TRA : 2 à 5 %. L'horizon étant vu de loin, la marmorisation donne l'impression d'une vague disposition horizontale des zones de couleur. Par endroit, petites lentilles (quelques cm de long) de graviers et gravillons dépourvus de matrice. Limite inférieure graduelle, mais transition généralement rapide.

.../...

70 - 110 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 30 à 40 %. Mêmes caractères généraux concernant les éléments grossiers, que précédemment, mais éléments quartzitiques à épais cortex blanc, à faciès local de silex plus abondants ; pas de cristallins visibles. Matrice argileuse, panachée, à fond ocre-rouge (5 YR 5/6 à 7,5 YR 5/6) TRA : 70 % et plages grises de teintes diverses (7,5 YR 5/0 et 10 YR 6/2) elles-mêmes souvent zébrées de rouille ou ocre. Vague disposition sub-horizontale des zones de couleurs, très peu nette cependant le plus souvent. Revêtements argileux ou faces de pression nombreux. Galets "blanchis" dans les zones grises qui correspondent assez souvent aux revêtements ou faces de pression argileux de la face inférieure des galets. Structure polyédrique fine, nombreux gravillons de quartz peu roulés dans la matrice. Limite inférieure généralement graduelle mais localement plus franche par apparition rapide de la zonation horizontale nette.

II B_3 tg à II BC_1 g

110 - 200 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, mêmes caractères généraux, mais très nette et spectaculaire organisation des zones de couleur. Matrice argileuse à argilo-sableuse constituée d'une succession de bandes sub-horizontales rouges à rouille (2,5 YR 3/6 à 5 YR 5/6 ou 7,5 YR 5/6), TRA : 30 à 50 %, et des bandes sub-horizontales grises à blanches (7,5 YR 8/0 à 7,5 YR 7/0), parfois légèrement zébrées de rouille, TRA : 50 à 70 %. Ces bandes sont plus ou moins larges et se succèdent tous les 5 à 15 cm. Les

II BC_2 g à II B_4 tg

.../...

bandes grises ou blanches horizontales sont parfois anastomosées et coalescentes ou reliées par des bretelles obliques ou sub-verticales, parfois empruntées par les racines. Graviers et galets sont souvent plus abondants dans les bandes claires, mais ceci n'est pas toujours général. Dans ces bandes claires, les éléments caillouteux sont lavés, contrairement à ceux des bandes rouges qui sont patinés en rouge, ocre, brun, parfois revêtus de noir. Dans les bandes claires, quartzites (ou grès siliceux) à épais cortex blanc poreux et coeur compact rouille, à aspect localement silicifié ; localement amas blancs pulvérulents à gravillons de quartz (résidus de cristallins?) Epais revêtements, ou faces de pression, autour des galets, de couleur variable selon la position dans l'un ou l'autre type de bandes. Bandes ou revêtements et faces de pression argileux gris semblent plus argileux que les rouges. Les zones colorées sont plutôt rouge-orange au sommet de l'horizon, rouge sombre au centre, devenant plutôt brun-rouge à rouge-brun en profondeur. Dans les bandes grises, quelques revêtements noirs localisés. La structure de la matrice grise est mieux exprimée en général (débit polyédrique fin) que celle, plus massive, de la matrice rouge. En profondeur, la largeur des bandes grises diminue généralement. Limite inférieure le plus souvent très graduelle, parfois plus rapide par distribution plus irrégulière des zones de couleur.

.../...

200 - 270 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 30 à 50 %, galets de taille moyenne légèrement supérieure à celle des horizons précédents, avec éléments supérieurs à 6 - 7 cm représentant 10 à 20 % du TRA. Disposition sub-horizontale des zones de couleur encore apparente mais beaucoup moins nette, avec orientations obliques ou sub-verticales ; les bandes ou langues grises sont beaucoup moins abondantes (TRA: 10 à 20 %), l'ensemble de l'horizon apparaissant ainsi comme plus uniformément rubéfié, fond rouge, (2,5 YR 4/6) à brun-rouge (5 YR 5/4). La matrice reste argileuse mais à tendance sablo-argileuse plus nette, avec des passages plus riches en sables grossiers et des plages de quelques cm^2, ocres ou jaunâtres, limoneuses à limono-sableuses (schistes altérés ?). Revêtements argileux autour des galets, non distinguables des faces de pression. Limite inférieure graduelle.

II BC_3 g

270 - 500cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 30 à 50 %, caractères généraux assez proches des précédents. Matrice argilo-sableuse à sable grossier, localement sablo-argileuse, couleur de fond rouge (2,5 YR 5/6) à brun-rouge ou rouge jaunâtre (5 YR 5/6) devenant plus ocre en profondeur (tendance 7,5 YR 6/8 à 7,5 YR 5/6).Les bandes ou zones grises ne font que des apparitions épisodiques, elles sont fort rares mais on en observe exceptionnellement jusqu'à 5 à 6 m, d'orientation

II BC_4 g

.../...

quelconque, de texture apparemment plus argileuse que la matrice rouge ou ocre externe, englobant des galets propres et "lavés" avec par place des amas poudreux avec ou sans gravillons, très blancs (résidus de cristallins ?). On observe localement quelques épais revêtements ou faces de pression argileux autour des galets, brun-rouge foncé, en "discordance" sur le fond matriciel plus riche en sables grossiers. Sauf dans les quelques plages grises ou blanchâtres, les galets sont patinés de rouge ou rouille. Par place, petits amas rouille jaunâtre limono-sableux (schistes altérés).

Le profil a une dizaine de mètres d'épaisseur (éboulements au-delà de 5-6 m) et le plancher de la carrière, sans nappe phréatique, est toujours constitué d'alluvions.

Analyse (Profil n° 43)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 20	23,7	7,7	9,6	35,4	23,1	21,4
30 - 40	68,8	11,0	8,9	21,5	23,3	33,9
55-- 65	73,9	18,2	7,7	18,9	18,6	35,3
90 - 100	77,2	18,9	6,0	5,1	8,4	60,9
130 - 140	75,0	41,6	8,5	3,4	8,6	37,2
150 - 160	68,1	17,6	6,3	3,3	7,2	64,7
230 - 240	66,1	45,9	8,9	3,9	11,3	29,2
280 - 300	76,5	51,3	9,9	3,7	10,4	24,3
400 - 420	67,3	47,3	7,5	3,6	7,8	32,8

.../...

Analyse (Profil n° 43 -suite-)

Prof. cm	pH		Matière organique %			
	eau	KCl	MO	C	N	C/N
10 - 20	6,9	5,7	1,6	0,98	0,11	8,8
30 - 40	6,6	5,4	0,9	0,53	0,08	6,08
55 - 65	6,1	4,9	0,4	0,25	0,05	4,3
90 - 100	5,2	4,0	0,3	0,23	0,05	4,4
130 - 140	4,8	3,9	0,1	0,08	0,03	2,4
150 - 160	4,8	3,7	0,2	0,12	0,04	2,8
230 - 240	4,8	3,9	0,06	0,04	0,02	1,4
280 - 300	5,0	4,3	0,06	0,04	0,03	1,3
400 - 420	4,6	4,6	0,06	0,04	0,02	1,4

.../...

Analyse (Profil n° 43 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %	FT	FL	FL/FT%
10 - 20	7,7	0,23	0,65	0,12	8,7	10,9	79	1,34	0,67	50
3o - 40	7,7	0,21	0,60	0,16	8,8	12,0	73	1,95	1,06	54
55 - 65	7,1	0,14	1,1	0,12	8,6	13,0	66	2,62	1,39	53
90 - 100	9,5	0,12	1,8	0,16	11,7	20,4	57	7,20	4,18	58
130 - 140 (a)	 4,2	 0,04	... 1,6	 0,12	 6,0	 14,40	.. 42	3,01	2,00	65
130 - 140 (b)	...	....	...	....	....	.....	...	10,15	6,08	60
150 - 160 (c)	7,8	0,08	1,7	0,19	9,8	21,1	46	1,95	(g) 0,72	36
230 - 240 (d)	3,0	0,04	1,1	0,12	4,3	9,9	43	3,62	2,90	80
280 - 300 (e)	3,1	0,04	1,1	0,09	4,4	8,7	50	3,29	2,51	76
400 - 420 (f)	4,1	0,17	1,4	0,12	5,9	9,2	64	3,40	2,73	80

(a) : Dominante grise

(b) : Dominante rouge pure

(c) : Dominante grise pure

(d) (e) (f) : Dominante rouille ou ocre

(g) : 3 attaques

Profil n° 44 (29/3/71/5)

Localisation : 82 - Lavit ; X = 0° 58' ; Y = 43° 59' ;
h = 180 m

Site géomorphologique : Plateau de Lomagne, long interfluve tendu, pente 0,5 % vers le nord-est, amorce d'un vallon vers le sud-est.

Exploitation biologique : Bordures de carrières colonisées par l'Ajonc d'Europe, le Sarothamne à balais, parfois la Bruyère à balais.

Classification : Sol lessivé glossique, à sol hydromorphe peu humifère à pseudogley.

DESCRIPTION

0 - 25 cm A_p et A_{21} g	: Horizon faiblement marmorisé, fond brun-gris pâle, avec points ou petits spots rouille. Sablo-limoneux à limono-sableux. Structure massive à tendance feuilletée. Petits pores assez peu nombreux. Quelques racines et radicelles. Limite inférieure graduelle mais passage rapide, un peu ondulée, localement nette et franche.
25 - 50 cm A_{22} g et B_1 tg	: Horizon marmorisé, fond brun-jaune à brun-ocre, avec plages brun-gris qui s'élargissent peu à peu de façon subverticale avec la profondeur. Limoneux devenant peu à peu plus argileux. Structure massive à tendance polyédrique fine. Quelques radi-

.../...

celles. Petits pores et canalicules.
Limite inférieure graduelle.

50 - 130 cm : Horizon marmorisé, fond ocre TRA : 60 à 80 %, avec langues grises légèrement verdâtres ou bleuâtres à organisation sub-verticale, de plus en plus nettes avec la profondeur, tandis que la matrice ocre devient plus vive en profondeur. Argilo-sableux. Structure massive à tendance nette polyédrique fine. Revêtements argileux brillants autour des agrégats. Pores et canalicules. Vers 100 cm, bande de 5 à 10cm d'épaisseur à petits graviers et gravillons à revêtements noirs et concrétions arrondies ($B_{3\,Fe}$ g), non consolidée ; cette bande est continue dans la coupe mais d'allure très irrégulière, apparaissant localement vers 50 cm puis s'infléchissant vers la profondeur, présentant localement des sections courtes sub-verticales, englobée presque toujours dans la matrice ocre. Localement, ces bandes grises verticales se poursuivent quelque peu dans la nappe caillouteuse sous-jacente par une langue grise oblique. Limite inférieure franche au niveau des cailloutis. Par place, on observe, reposant sur les cailloutis, une bande grise sub-horizontale.

B_2 tg

130 - 500 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, à petits galets de quartz dominant, TRA : 50 à 80 %, longueur moyenne 2-3 cm, avec par place lentilles de galets plus gros. Matrice sablo-argileuse à argilo-sableuse, panachée : fond ocre-rouge et plages grises, ici assez peu organisée, plus loin, disposées en bandes sub-horizontales, beaucoup plus nettes. Par endroit, quelques

II B_3 tg
à
II BC g

.../...

revêtements et concrétions de fer noirs. Pas de cristallins visibles. En profondeur, vers 700 cm sous la surface, la matrice est sablo-argileuse à localement sableuse (sable-grossier), emballant des éléments quartzeux et certains schisteux encore cohérents, matrice jaune-orangé claire avec quelques bandes noires de revêtements.

Analyse (Profil n° 44)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 25	0	9,1	15,1	35,3	16,5	22,5
50 - 60	0	6,2	6,8	29,7	22,0	33,9
90 - 100	0	5,9	5,1	28,7	20,0	38,5

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
15 - 25	5,5	4,0	0,00	0,01	0,4	0,25	0,04	5,5
50 - 60	5,2	3,7	0,00	0,00	0,2	0,13	0,04	3,1
90 - 100	5,0	3,6	0,00	0,00	0,1	0,11	0,03	3,0

.../...

Analyse (Profil n° 44 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %	FT	FL	FL/FT %
15 - 25	2,4	0,10	2,3	0,16	5,3	10,4	50	1,67	0,78	44
50 - 60 (a)	3,7	0,14	3,9	0,32	8,1	15,1	53	2,51	1,11	44
90 - 100 (a)	3,5	0,14	4,3	0,39	8,4	16,2	51	2,86	1,40	49

(a) : échantillon global

Profil n° 45 (24/10/71/2)

Localisation : 82 - Escazeaux ; X = 1° 1' ; Y = 43° 49' ; h = 265 m

Site géomorphologique : Plateau de Lomagne, long interfluve tendu, légèrement incliné vers l'est ou le nord-est. A 200 m de l'amorce d'un versant de vallon ; pente faible, de l'ordre de 0,5 % vers le nord-est.

Exploitation biologique : Bordure de parcelle de sorgho, à tapis herbacé à Graminées.

Classification : Sol hydromorphe peu humifère à pseudogley (à faciès de sol lessivé glossique.)

DESCRIPTION

0 - 25 cm

A_p et $A_{21}g$: Brun-gris clair devenant plus pâle en profondeur. Limoneux à limono-sableux. Structure massive à feuilletée, horizon cohérent à l'état sec. Racines et radicelles. Petits pores et canalicules. Points rouille et radicelles gainées de rouille dès la surface. Limite inférieure graduelle mais transition parfois assez rapide, ondulée.

25 - 50 cm

$A_{22}g$ et B_1tg : Horizon marmorisé, fond brun-jaune à ocre (TRA : 70 %) et plages grisâtres (TRA : 30%) sans organisation nette des zones de couleur Argilo-limoneux à argilo-sableux. Structure très finement polyédrique, massive à l'état sec. Petits pores et canalicules. Quelques racines et radicelles. Quelques rares amas coprogènes un peu plus foncés. Rares gravillons ou graviers de quartz. Limite inférieure graduelle, ondulée.

.../...

50 - 90 cm : Horizon marmorisé, fond ocre et plages grises tendant à s'organiser, verticalement ou en obliques redressées, de plus en plus nettement avec la profondeur, en même temps que ces langues grises deviennent plus larges. Argilo-sableux. Structure massive à l'état sec, finement polyédrique lorsque l'horizon est frais. Revêtements argileux brillants autour des agrégats, nets. Nombreux petits pores. Rares concrétions noires tendres de fer, diamètre de l'ordre du mm, rares ébauches de revêtements noirs, surtout en profondeur. Limite inférieure graduelle, peu distincte.

B_2 tg

90 - 130 cm : Horizon identique au précédent, mais faciès glossique mieux exprimé, langues grises plus larges, localement formées par la coalescence ou la jonction de traînées simples. La couleur des bandes grises est plus claire, celle du fond ocre un peu plus vive, que dans l'horizon supérieur. Parfois, le contact entre langue grise et fond ocre est souligné par une teinte un peu plus vive du fond ocre. Pas de concrétions noires visibles.

B_3 tg

Analyse (Profil n° 45)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
10 - 20	0	5,2	18,3	26,6	24,2	23,6
35 - 45	0	2,5	10,9	26,9	23,5	35,4
75 - 85	0	3,0	9,7	26,8	22,0	37,7
110 - 120	0	3,5	7,0	26,0	22,4	39,8

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
10 - 20	5,3	4,3	0,01	0,03	1,9	1,1	0,10	10,2
35 - 45	5,1	3,9	0,00	0,00	0,5	0,30	0,04	6,7
75 - 85	5,0	3,7	0,00	0,00	0,2	0,13	0,03	3,6
110 - 120	4,9	3,7	0,00	0,00	0,2	0,11	0,04	2,9

.../...

Analyse (Profil n° 45 -suite-)

Prof.	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
cm	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %	FT	FL	FL/FT %
10 - 20	3,8	0,25	1,2	0,16	5,5	15,4	35	1,46	0,78	53
35 - 45	3,1	0,14	2,3	0,22	5,8	20,4	28	2,40	1,22	50
75 - 85 (a)	4,0	0,17	4,3	0,60	9,2	21,5	42	2,62	1,34	51
110 - 120 (a)								2,73	1,33	49

(a) : échantillon global.

Profil n° 46 (6/6/71/1)

Localisation : 32 - Pujaudran ; X = 1° 9' ; Y = 43° 35' ; h = 300 m

Site géomorphologique : Haut niveau alluvial culminant de la Garonne, rive gauche. Langue de plateau démantelé, à faible pente vers l'est. En bordure d'un vallon, pente 1 % vers le sud.

Exploitation biologique : Maïs-grain.

Classification : Sol lessivé glossique, à sol hydromorphe peu humifère à pseudogley.

DESCRIPTION

0 - 10 cm

A_p et A_{21} g

: Brun-gris clair. Limono-argilo-sableux à limono-argileux. Structure massive à tendance feuilletée. Quelques radicelles. Rares graviers et gravillons. Petites taches ou points rouille, très net par endroit. Limite inférieure assez franche, ondulée.

10 - 40 cm

A_{22} g et B_1 tg

: Horizon marmorisé, fond brun pâle (10 YR 7/3) avec plages ou taches grisâtres à blanchâtres (10 YR 8/2) et jaune-brun ocre (10YR 6/8), sans organisation nette des zones de couleur. Argilo-sableux. Structure à tendance massive, finement polyédrique. Petits pores et canalicules Quelques radicelles. Quelques revêtements noirs autour des agrégats, rares. Revêtements argileux peu nets (profil très humide). Limite inférieure graduelle, ondulée.

.../...

- -

40 - 85 cm : Horizon bariolé, fond ocre-jaune (10 YR 7/6 à 6/8) à zones grises ou blanches (10 YR 8/2) s'organisant de plus en plus nettement en langues sub-verticales avec la profondeur, où elles s'élargissent quelque peu. Localement, les zones grises apparaissent plus argileuses que les zones colorées. Argilo-sableux. Structure massive à tendance finement polyédrique. Petits pores et canalicules 1/10e à 1 mm de diamètre. Quelques revêtements noirs autour des agrégats, quelques petites concrétions de fer rondes, noires. Revêtements argileux peu nets (profil très humide). Quelques graviers et gravillons. Limite inférieure très graduelle, indistincte, ondulée.

B_2 tg

85 - 135cm : Horizon marmorisé, proche du précédent, mais à langues grises encore plus nettement contrastées sur le fond ocre, localement exploitées par des radicelles. Limite inférieure très graduelle, ondulée.

B_3 tg

135 - 160cm: Horizon marmorisé, proche du précédent, mais à langues grises encore un peu plus larges. Gravillons et graviers, quelques petits galets de quartz, de plus en plus fréquents avec la profondeur. Concrétions noires de fer et revêtements noirs augmentent avec la profondeur. Au contact de la nappe caillouteuse inférieure, graviers et gravillons sont nombreux, TRA : 30 à 40 %, revêtus de noir, passant latéralement sur la coupe à un $B_{Fe}g$ peu consolidé, là où les gravillons sont particulièrement nombreux, de couleur noire à zones rouille ou blanchâtres. Le passage

B_4 tg

.../...

rapide entre B_4 tg et la nappe caillouteuse inférieure se fait par ce mince horizon gravillonnaire à accumulation de fer. Contact généralement ondulé.

160 - 300 cm : Nappe de galets, graviers et gravillons, TRA : 30 à 50 %, longueur moyenne des galets 4 à 5 cm, 10 % du TRA atteignent de 5 à 10 cm de longueur. Les quartz représentent 80 à 90 %, quartzites et lydiennes pour le reste, débris de cristallins et de schistes complètement altérés. Quelques quartz cariés à infiltrations rouge ou rouille. Selon leur situation dans le profil, les quartzites peuvent présenter un cortex blanc externe de quelques mm d'épaisseur, avec noyau interne vert sombre surmonté parfois d'une zone rouille, concentrique ou non. Les débris d'anciens cristallins se signalent par des amas blanchâtres, poudreux à petits quartz de la taille des sables grossiers ou des petits gravillons. La matrice est argileuse à nombreux gravillons (quartzeux, essentiellement), bariolée, fond rouge à orange vif TRA : 80 %, avec réseau gris clair à vague disposition horizontale mais où les langues obliques et sub-verticales sont nombreuses, dans toutes les directions. Nombreux et épais revêtements argileux ou faces de pression autour des galets, plus souvent gris que rouge. En profondeur, vers 300 cm, la matrice semble devenir un peu moins argileuse. Par place, amas rouge clair limono-sableux, sans gravillons, provenant de l'altération d'éléments schisteux.

II B_5 tg et II BC g

Analyse (Profil n° 46)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
25 - 35	0	1,6	11,0	29,9	21,4	35,3
50 - 60	0	1,7	9,9	29,6	19,0	38,8
100 - 100	0	3,3	12,4	28,4	22,3	32,9
140 - 150	5,1	3,8	11,1	30,4	21,6	31,7
200 - 220	60,3	14,2	10,8	6,0	15,1	52,7

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
25 - 35	7,0	6,5	0,00	0,01	0,4	0,23	0,07	2,9
50 - 60	6,2	4,6	0,00	0,00	0,2	0,15	0,07	2,0
100 - 1[illegible]	5,9	4,2	0,00	0,00	0,1	0,10	0,06	1,6
140 - 150	5,7	4,5	0,00	0,00	0,2	0,11	0,06	1,8
200 - 220	4,8	3,6	0,00	0,00				

.../...

Analyse (Profil n° 46 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Al_2O_3 %
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	
25 - 35	13,3	0,17	2,5	0,12	16,2	20,3	79	0,20
50 - 60	9,7	0,14	4,9	0,32	15,1	22,2	67	0,20
100 - 110	6,3	0,12	4,3	0,41	11,2	18,1	61	
140 - 150	6,1	0,10	3,6	0,41	10,3	17,3	59	0,16
200 - 220	7,6	0,10	2,6	0,12	10,4	11,5	90	

- -

Analyse (Profil n° 46 -suite-)

Prof. cm	Fe % FT	FL	FL/FT %
25 - 35 (a)	2,62	1,45	55
25 - 35 (b)	3,51	2,79	79
25 - 35 (c)	2,56	2,00	77
50 - 60 (a)	2,79	1,39	50
50 - 60 (b)	3,18	2,84	89
50 - 60 (c)	2,51	1,11	44
100 - 110 (a)	2,34	1,39	59
100 - 110 (b)	2,68	2,34	89
100 - 110 (c)	1,56	0,72	46
140 - 150 (a)	2,79	1,90	68
140 - 150 (b)	3,01	3,00	99
140 - 150 (c)	1,39	0,76	54
200 - 220 (b)	8,53	6,80	79
200 - 220 (c)	3,73	2,45	65

(a) : échantillon global

(b) : zones rouges ou ocre

(c) : zones grises ou blanches

Profil n° 47 (14/3/71/1)

Localisation : 31 - Empeaux ; X = 1° 6' ; Y = 43° 32' ; h = 310m

Site géomorphologique : Haut niveau alluvial culminant de la Garonne rive gauche. Langue de plateau légèrement inclinée vers le nord-est, bordure d'un versant de vallon.

Exploitation biologique : Bas taillis de Chênes pubescents, quelques Sarothamnes et Ajoncs d'Europe, couverture herbacée.

Classification : Sol hydromorphe peu humifère à pseudogley, à sol lessivé glossique.

DESCRIPTION

0 - 15 cm A_p	: Horizon remanié (débris de brique, de poteries) brun-gris. Limoneux. Structure polyédrique à nuciforme. Racines et radicelles. Limite graduelle mais transition rapide, ondulée.
15 - 40 cm A_2 g et B_1 tg	: Horizon marmorisé, fond brun à brun-clair, avec zones ou points à tendance rouille et plages plus claires, plus nettement exprimée en profondeur. Structure massive à tendance finement polyédrique. Petits pores, canalicules, quelques petites galeries et amas biogènes, surtout au sommet de l'horizon. Quelques petits gravillons de quartz de 1/2 cm de diamètre environ. Limite inférieure graduelle, ondulée.
40 - 60 cm B_2 tg	: Horizon marmorisé à fond brun-jaune à ocre (TRA : 60 %) et plages brun-gris, sans organisation nette des zones de couleur,

.../...

avec quelques enduits noirs, plus abondants localement, quelques petites concrétions noires. Argileux à argilo-limoneux. Structure massive à débit polyédrique moyen. Revêtements argileux brillants autour des agrégats, assez peu nets. Limite inférieure graduelle, ondulée.

60 - 90 cm : Horizon marmorisé à fond ocre, TRA : 40 à 50 %, zones grises mieux exprimées, plus contrastées, TRA : 40 à 50 %, enduits noirs et concrétions noires plus abondantes que précédemment, souvent par poche. Argileux à argilo-sableux. Structure massive à débit polyédrique moyen. Quelques petits gravillons de quartz, 0,5 cm de diamètre. En profondeur, discrète tendance à une organisation sub-verticale des zones grises. Limite inférieure graduelle, ondulée.

B_3 tg

90 - 125 cm : Horizon marmorisé à disposition glossique, fond ocre et langues grises sub-verticales (à orientation de plus en plus nette avec la profondeur), larges de 1 à 4 cm, s'anastomosant et se reliant entre elles. Par place, enduits noirs autour des agrégats. Argileux à argilo-sableux. Structure massive, à débit finement polyédrique. Quelques petits gravillons de quartz.

B_4 tg

Analyse (Profil n° 47)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
15 - 30	0	6,2	12,6	25,8	23,7	28,6
40 - 60	0	4,4	9,0	26,3	23,9	35,4
60 - 80	0	4,8	10,5	25,4	23,4	34,7
110 - 120	0	6,2	11,8	22,9	23,0	34,9

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique %			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
15 - 30	6,5	5,2	0,02	0,02	2,0	1,16	0,13	8,7
40 - 60	6,7	5,3	0,00	0,00	0,3	0,22	0,04	4,7
60 - 80	6,6	5,1	0,00	0,00	0,3	0,17	0,05	3,3
110 - 120	5,5	3,7	0,00	0,00	0,2	0,12	0,04	2,7

.../...

Analyse (Profil n° 47 -suite-)

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %			Al_2O_3 %
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %	FT	FL	FL/FT%	
15 - 30	10,7	0,23	1,6	0,09	12,7	14,5	87	2,23	1,10	50	
40 - 60	10,2	0,23	2,2	0,12	12,8	16,1	79	2,95	1,22	41	0,21
60 - 80	8,7	0,17	3,9	0,16	13,0	15,2	85	2,90	1,28	44	0,20
110 - 120	4,9	0,12	4,5	0,35	9,9	14,4	68	2,95	1,39	47	0,21

IX. SOLS DES PLATEAUX DE PIEMONT.

Profils n° 48-49

Profil n° 48 (30/8/72/8)

Localisation : 09 - Lasserre ; X = 1° 10' ; Y = 43° 4' ; h = 565 m

Site géomorphologique : Langue de plateau de piémont, inclinée vers le nord. En bordure d'un versant ; pente locale 1 % vers le sud-ouest.

Exploitation biologique : Prairie naturelle.

Classification : Sol hydromorphe peu humifère à pseudogley, à sol lessivé hydromorphe.

DESCRIPTION

0 - 10 cm A_1	: Brun-gris sombre. Limoneux. Structure nuciforme. Racines et radicelles nombreuses. Amas coprogènes. Quelques graviers et gravillons quartzeux. Horizon discontinu, limite inférieure généralement franche, ondulée et irrégulière.
10 - 40 cm A_2 g et B_1 tg	: Brun à brun-jaune pâle (10 YR 7/4) avec quelques taches rouille et zones plus claires, devenant plus nettes et plus abondantes en profondeur. Traînées brunes plus sombres de A_1. Limoneux à limono-sableux, devenant un peu plus argileux en profondeur. Quelques graviers et petits galets quartzeux (2 à 3 cm de long), TRA : 5 %. Structure légèrement massive, à débit finement polyédrique subangulaire. Limite graduelle, localement plus franche par ligne discontinue de galets et graviers, ondulée.

.../...

40 - 110cm : Jaune brunâtre (10 YR 6/8) à jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8) à taches rouille vif par place, quelques trainées brunes plus sombres provenant de l'horizon supérieur. Argilo-sableux. Structure massive à débit polyédrique moyen. Graviers et galets (quartz et éléments de quartzites, parfois brisés, souvent patinés et rouille jusqu'au coeur), taille moyenne des galets 5-6 cm, TRA : 30 à 40 %. Revêtements argileux autour des agrégats et galets (faces de pression). En profondeur, les éléments caillouteux sont plus rares, TRA : 10 % Limite inférieure généralement graduelle et ondulée.

B_2 tg

110 - 180cm : Jaune rougeâtre, orange (7,5 YR 6/8 à 5 YR 6/8) avec quelques points blancs ou brun-noir, et quelques plages plus claires. Limoneux à limono-sableux. Structure massive. Galets et graviers de taille diverse, TRA : 10 %, avec quelques galets (quartz) de plus de 10 - 15 cm. Quelques amas provenant de la pulvérisation de cristallins, avec points blancs poudreux ou petits amas de sable grossier ou gravillonnaire.

BC à BC_g

Analyse (Profil n° 48)

Prof. cm	EG	SG	SF	STF	L	A
		GRANULOMETRIE %				
		% de TF				
20 - 30	-	22,5	17,5	12,2	23,0	22,7
80 - 90	27,2	16,3	16,6	7,5	29,6	29,3
140 - 150	-	17,3	17,9	8,1	33,0	22,3

Prof. cm	pH eau	pH KCl	Matière organique % MO	C	N	C/N
20 - 30	5,6	4,2	1,6	0,98	0,10	9,6
80 - 90	5,0	4,1	0,4	0,23	0,04	5,0
140 - 150	5,1	4,1	0,2	0,14	0,04	3,5

Prof. cm	Complexe Absorbant meq % Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T %
20 - 30	1,5	0,06	0,20	0,03	1,8	9,3	19
80 - 90	0,14	0,02	0,05	0,06	0,27	9,8	2
140 - 150	0,07	0,02	0,00	0,03	0,12	8,5	1

Profil n° 49 : (31/8/72/10)

Localisation : 31 - Leudary ; X = 0° 52' ; Y = 43° 3' ; h = 440 m

Site géomorphologique : Plàteau de piémont, étroite langue sud-ouest-nord-est. Bordure de vallon, haut du versant, pente 3 à 5 % vers le sud-est, s'accentuant peu à peu.

Exploitation biologique : Prairie naturelle.

Classification : Sol brun lessivé.

DESCRIPTION

0 - 45 cm A_p et A_2	: Brun clair (10 YR 6/3) légèrement plus gris en surface. Limoneux. Structure massive à légère tendance polyédrique. Quelques racines et radicelles. Petits pores et canalicules. Quelques graviers et galets. Limite inférieure variable, généralement franche par ligne de graviers et petits galets, discontinue.
45 - 70 cm B_1 t	: Brun vif (7,5 YR 5/8), traînées légèrement plus sombre (10 YR 5/4). Limoneux à argilo-limoneux. Structure massive à tendance légèrement feuilletée. Petits pores, quelques gros canaux biogènes de 0,5 à 1 cm de diamètre. Quelques graviers et galets, TRA : 2 à 5 %, quartz et quartzites gréseux. Limite graduelle, indistincte.
70 - 130 cm	: Rouge jaunâtre à jaune rougeâtre (5 YR

.../...

B_2 t	: 5/8 à 7,5 YR 6/8), et traînées verticales un peu plus sombres. Argileux, à argilo-sableux. Structure massive à tendance très faiblement polyédrique. Ebauches de revêtements argileux brillants autour des agrégats. Petits pores. Graviers et galets, 2 à 5 %, quartz et quartzites gréseux. Limite inférieure graduelle mais transition rapide.
130.- 250 cm B_3 t à BC	: Jaune rougeâtre (5 YR 6/8). Argilo-sableux. Encore qualques traînées verticales plus sombres au sommet de l'horizon, disparaissant en profondeur. Structure massive. Nombreux petits pores. Rares galets ou graviers, assez nombreux petits gravillons.

Analyse (Profil n° 49)

Prof. cm	GRANULOMETRIE %					
	EG	% de TF				
		SG	SF	STF	L	A
60 - 70	0	11,5	14,6	17,6	25,6	29,0
90 - 100	20,0	15,4	13,3	9,7	22,5	37,8
210 - 220	-	7,7	15,9	14,3	29,3	31,8

Prof. cm	pH		P_2O_5 ‰		Matière organique			
	eau	KCl	citrique	Joret	MO	C	N	C/N
60 - 70	5,3	4,0	0,00	0,02	1,2	0,73	0,09	8,1
90 - 100	5,8	4,6	0,00	0,00	0,4	0,28	0,07	4,0
210 - 220	5,6	4,2	0,00	0,00	0,3	0,20	0,06	3,3

Prof. cm	Complexe Absorbant meq %							Fe %		
	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	FT	FL	$\frac{FL}{FT}$ %
60 - 70	0,71	0,04	0,00	0,06	0,8	9,8	8	3,46	1,00	28
90 - 100	3,2	0,10	0,30	0,06	3,7	11,0	33			
210 - 220	0,92	0,04	0,15	0,06	1,17	9,0	13	3,73	2,79	73

- B I B L I O G R A P H I E -

Documents cartographiques

Outre la couverture topographique d'ensemble IGN au 50 000e, les cartes géologiques suivantes ont été utilisées :

- carte géologique au 320 000e : feuille Toulouse (1962) ;
- carte géologique au 80 000e : feuilles Bagnères-de-Luchon (1951), Foix (1950), Pamiers (1966), Saint-Gaudens (1961) ;
- carte géologique au 50 000e : feuilles Beaumont-de-Lomagne (1968), Cazères (1970), Gimont (1968), Grenade-sur-Garonne (1964), Lombez (1970), Montauban (1962), Muret (1965), Saverdun (1970), Saint-Gaudens (1973), Saint-Nicolas-de-la-Grave (1973), Toulouse-est (1965), Toulouse-ouest (1965), Villefranche-de-Lauragais (1965).

Par ailleurs, on a consulté et éventuellement exploité certaines cartes ou esquisses géomorphologiques annexées aux ouvrages antérieurs, notamment ceux de L. GORON (1941) et F. TAILLEFER (1951 a). Mentionnons également la feuille Montréjeau (quart sud-est) au 50 000e de la carte morphologique détaillée de la France (Service de documentation et de cartographie du CNRS, Institut de Géographie de Paris, 1970), qui a été partiellement utilisée. Enfin, on a consulté la carte des sols au 50 000e, de conception agrologique, tirée du rapport "Grand ensemble de la Neste des Petites Pyrénées et des terrasses de Saint-Lys : étude pédologique de reconnaissance" (Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, Ministère de l'Agriculture, 1968).

Ouvrages

Principaux sigles et abréviations utilisés

B.A.F.E.Q.- Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire.

B.A.F.E.S.- Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol.

B.S.C.G.F.- Bulletin du Service de la Carte géologique de la France.

B.S.G.F.- Bulletin de la Société géologique de France.

B.S.H.N. Toulouse.- Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse.

C.R.Ac.Sc.- Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris.
C.R.S.G.F.- Comptes-rendus des séances de la Société géologique de France.
R.G.P.S.O.- Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Toulouse.
Sc. du sol.- Science du sol.

:-.-:-

ALIMEN (H.),
1951 - Actions périglaciaires et sols sur le versant nord-pyrénéen en Bigorre. R.G.P.S.O., XXII, 2-3, p. 124-136.

1964 - Le Quaternaire des Pyrénées de la Bigorre. Mém. Serv. Carte géol. Fr., Paris, 394 p.

1965 - Quelques notions de portée générale déduites d'observations sur le Quaternaire moyen du Béarn. B.A.F.E.Q., 3, p. 103-115.

ALIMEN (H.) et CAILLERE (S.),
1964a - Quelques considérations sur les successions climatiques au Quaternaire, déduites de l'étude des argiles des sédiments des Pyrénées de la Bigorre et du Béarn. C.R.Ac.Sc., 258, D, p. 5475-5478.

1964b - Caractérisation des nappes quaternaires des Pyrénées de la Bigorre et du Béarn par leurs minéraux argileux et essai d'interprétation climatique. R.G.P.S.O., XXXV, 4, p. 373-396.

ALIMEN (H.) et SAUVAGE (J.),
1964 - Première étude palynologique de sédiments (Mindel à Würm III) des Pyrénées centrales françaises. VIth Int. Cong. Quaternary, Warsaw 1961, Lodz, II, p. 351-358.

ALIMEN (H.), FLORSCHUTZ (F.) et MENENDEZ AMOR (J.),
1965 - Etude géologique et palynologique sur le Quaternaire des environs de Lourdes. Actes du 4° Cong. Int. Et. Pyrénéennes, 1 (S1), p. 7-26.

ALVINERIE (J.), LATOUCHE (C.) et THIBAULT (C.),
1965 - Contribution par l'étude des minéraux lourds et argileux à l'interprétation stratigraphique du Quaternaire des Landes méridionales. B.S.G.F., 7, p. 456-468.

ARNAL (H.),
1971a - Phénomènes périglaciaires dans la basse vallée du Rhône, formations quaternaires du rebord sud et alluvions du fond de l'étang de Pujaut. B.A.F.E.Q., 3, p. 145-149.

1971b - Les sols polygonaux étirés et sols striés d'âge würmien de Laudun (Gard). B.A.F.E.Q., 3, p. 151-160.

1972 - Aspects microscopiques de deux paléosols fersiallitiques très lessivés du Bas-Languedoc. Influence de la roche-mère. B.A.F.E.S., 1-2, p. 81-90.

ASTRE (G.),
1927 - Faune malacologique des alluvions récentes à caractère mixte du confluent de la Garonne et de la vallée morte de l'Hers. B.S.H.N. Toulouse, 56, p. 391-399.

1928 - Quartz à érosion éolienne dans le loess toulousain. B.S.H.N. Toulouse, 57, p. 218-222.

1929 - Le passage de la Géologie à l'Histoire aux portes de Toulouse. Bull. Soc. Archéo. Midi de la France (2), 48, p. 141-142.

1932 - Mammifères des lignites pontiens d'Orignac. B.S.H.N.Toulouse, 64, p. 581-584.

ASTRE (G.),
1933 - Aceratherium dans les marnes peu plissées de Ginestous. B.S.H.N.Toulouse, 65, p. 293-298.

1938a - Haches en pierre taillée ayant subi les actions éoliennes dans la plaine de Saint-Agne, près de Toulouse. C.R.S.G.F., (5), 8, n° 10, p. 159-161.

1938b - Formations déposées par le vent contre le coteau de Guilhemery-Montaudran à Toulouse. C.R.S.G.F., (5), 8, n° 13, p. 200-201.

1944 - Bois silicifiés sur les coteaux de la Seilhonne. B.S.H.N. Toulouse, 79, p. 183-176.

1952 - Faunule malacologique à la base de l'argile grumeleuse de Grépiac. Journal de Conchyologie (Paris), 92, n° 2, p. 61-64.

1953a - L'argile grumeleuse de coulière, couverture quaternaire du haut Terrefort toulousain. Bull. Sect. Sciences Com. Trav. Hist. et Scient. (Actes 78° Cong. Soc. Sav. Toulouse), p. 65-71.

1953b - Mastodonte de Bourg-Saint-Bernard et érosions miocènes dans le bassin sous-pyrénéen. B.S.G.F., (6), 3, p. 253-260.

1956 - L'argile grumeleuse sur le loess, aux pentes des coteaux de rive gauche de l'Hers. B.S.G.F., (6), 6, p. 371-380.

1959 - Terrains stampiens du Lauragais et du Tolosan. B.S.H.N. Toulouse, 94, p. 8-168.

1967 - Elephas trogontherii dans les graviers de Palaminy. B.S.H.N. Toulouse, 103, p. 19-21.

1972 - Le loess de Bellevue et la formation de ses "poupées". B.S.H.N.Toulouse, 108, p. 115-124.

BARRERE (P.),
1953 - Equilibre glaciaire actuel et quaternaire dans l'Ouest des Pyrénées centrales. R.G.P.S.O., XXIV, 2, p. 116-134.

1963 - La période glaciaire dans l'Ouest des Pyrénées centrales franco-espagnoles. B.S.G.F., (7), 5, p. 516-526.

1969 - Livret-guide excursion C 12, Pyrénées occ., littoral basque et landais, 8e Cong. INQUA, Paris, p. 1-44.

BARRIERE (J.),
1969a - Le volcanisme d'Agde à Valros. Livret-guide excursion C 14, Languedoc, Provence, Côte d'Azur, 8e Cong. INQUA, Paris, p. 14-20.

1969b - Les terrasses alluviales quaternaires de l'Orb et leurs paléosols dans la région de Maraussan. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 93-100.

1971a - Utilisation des paléosols comme éléments de datation des formations quaternaires. C.R.Ac.Sc., 273, D, p. 310-313.

1971b - Limites d'utilisation des paléosols pour la reconstitution des paléoclimats. C.R.Ac.Sc., 272, D, p. 2426-2429.

1971c - Interprétation paléogéographique de la stratigraphie des dépôts du Plio-Pléistocène inférieur languedocien. B.A.F.E.Q., 3, p. 142-144.

BARRIERE (J.) et MAZIER (J.),
1971 - Les formations quaternaires de la basse vallée de l'Hérault. B.A.F.E.Q., 3, p. 125-140.

BARRIERE (J.) et MICHAUX (J.),
1970 - La formation détritique villafranchienne de la Mosson (Montpellier) et son paléosol. B.A.F.E.Q., 2-3, p. 93-103.

BEAUDET (G.), MAURER (G.) et RUELLAN (A.),
1967 - Le Quaternaire marocain, observations et hypothèses nouvelles. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dynam., (2), IX, 4, p. 269-310.

BEGON (J.C.),
1972 - Aspects micromorphologiques de la génèse des sols de boulbène. B.A.F.E.S., 1-2, p. 33-48.

BEGON (J.C.) et JAMAGNE (M.),
1972 - Sur la génèse de sols limoneux hydromorphes en France. C.R. Commissions V et VI Ass. Int. Science du Sol, Stuttgart 1971, p. 307-318.

BELLAIR (P.) et POMEROL (C.),
1971 - Eléments de Géologie. Coll. U, A. Colin édit., Paris, 527 p.

BERNOT (J.),
1965 - Contribution à l'étude des sols lessivés des terrasses de la Garonne. Ann. Ecole Nat. Sup. Agro. Toulouse, X, 107 p.

BERTRAND (G.),
1968 - Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. R.G.P.S.O., 39, 3, p. 249-272.

1969 - Ecologie de l'espace géographique. Recherches pour une "Science du paysage". C.R. Soc. de Biogéographie, 406, p. 195-205.

BIROT (P.),
1937 - Recherches sur la morphologie des Pyrénées orientales franco-espagnoles. Baillère édit., Paris, 318 p.

1959 - Géographie physique générale de la zone intertropicale. C.D.U. édit., Paris, 244 p.

1969 - Le Quaternaire de la basse vallée de l'Orbieu. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 101-105.

1970 - Les régions naturelles du globe. Masson et Cie édit., Paris, 380 p.

BLOT (A.) et PEDRO (G.),
1967 - Etude des relations entre la composition granulométrique et la constitution minéralogique des sols et horizons d'altération. Ann. Agro., 18, 2, p. 203-216.

BOCQUIER (G.),
1973 - Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Mém. O.R.S.T.O.M. n° 62, 350 p.

BONIFAY (E.),
1955 - Méthodes d'études du remplissage des grottes. Bull. Soc. préhist. fr., LII, 3-4, p. 144-145.

1956 - Les sédiments détritiques grossiers dans les remplissages des grottes. Méthode d'étude morphologique et statistique. L'Anthropologie, 5-6, p. 447-461.

1957 - Age et signification des sols rouges méditerranéens en Provence. C.R.Ac. Sc., 244, p. 3075-3077.

1969 - Grottes et abris préhistoriques dans le sud-est de la France. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 81-83.

BONIFAY (M.F.),
1969 - Faunes quaternaires de France. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 127-142.

BONNEAU (M.), DUCHAUFOUR (P.) et LE TACON (F.),
1967 - Réflexions sur l'importance du facteur temps dans l'évolution des sols. Sc. du sol, 2, p. 13-24.

BONNET (A.) et BORNAND (M.),
1970 - Pédologie et Quaternaire dans la vallée du Rhône moyen. B.A.F.E.Q., 2-3, p. 105-116.

BORNAND (M.),
1969 - Les sols rouges du confluent Rhône-Isère. Sc. du sol, 2, p. 3-27.

BORDES (F.),
1951 - Les limons quaternaires du bassin de la Seine. Archives Inst. Paléonto. humaine, mém. n° 26, 472 p.

BORDES (F.), LAVILLE (H.) et PAQUEREAU (M.M.),
1966 - Observations sur le Pléistocène supérieur du gisement de Combe-Grenal (Dordogne). Actes Soc. Linéenne Bordeaux, B, 103, n° 10, 20 p.

BOTTNER (P.) et LOSSAINT (P.),
1967 - Etat de nos connaissances sur les sols rouges du bassin méditerranéen. Sc. du sol, 1, p. 49-63.

BOULAINE (J.),
1967 - Problèmes posés par les sols rouges méditerranéens. Bull. Ass. de Géogr. Français (B.A.G.F.), 354, p. 2-10, (discussion p. 11-16).

BOULE (M.),
1895 - Le plateau de Lannemezan et les alluvions anciennes des hautes vallées de la Garonne et de la Neste. B.S.C.G.F., 6, n° 43, p. 447-469.

1902 - La caverne à ossements de Montmaurin (Haute-Garonne). L'Anthropologie, 13, p. 305-319.

1904 - Sur les terrains pliocènes et quaternaires du bassin sous-pyrénéen. B.S.G.F., 4, p. 345-347.

BOURDIER (F.),
1961 - Le bassin du Rhône au Quaternaire. CNRS édit., Paris, 364 p. (+ tome iconogr. 295 p.).

BOURDIER (F.),
1972 - La place des gisements paléontologiques de Châtillon-Saint-Jean dans la chronologie des glaciations alpines. B.A.F.E.Q., 4, p. 307-310.

BOYER (M.),
1951 - Etude des alluvions de la Garonne en amont d'Agen. Sédimentation et Quaternaire (Bordeaux), p. 49-62.

BREUIL (H.),
1937 - Terrasses et quartzites taillés de la haute vallée de la Garonne. Bull. Soc. Préhist. France, 2, p. 1-27.

B.R.G.M.,
1965-1970 - Ensemble de travaux inédits, multigr. :

. inventaire des ressources hydrauliques sur la feuille Toulouse-ouest (3) (A. CAVAILLE et A. VANDENBERGHE).
. inventaire des ressources hydrauliques sur la feuille Toulouse-ouest (1,2) (J.C. NAPIAS).
. inventaire des ressources hydrauliques sur les feuilles Toulouse-ouest (7,8) (C. DASSIBAT).
. inventaire des ressources hydrauliques sur la feuille topographique au 50 000e, Muret. Etat des connaissances (C. DASSIBAT).

BRUNET (R.),
1965 - Les campagnes toulousaines. Publ. Fac. Lettres Toulouse, 727 p.

BRYSSINE (G.),
1949 - Les facteurs climatiques de la pédogénèse au Maroc. Cahiers Rech. Agro., Rabat, 2, p. 48-70.

CAILLEUX (A.) et ROUSSET (C.),
1968 - Présence de réseaux polygonaux de fentes en coin en basse Provence occidentale et leur signification paléoclimatique. C.R.Ac. Sc., D, 266, p. 669-671.

CAILLEUX (A.) et TRICART (J.),
1959 - Initiation à l'étude des sables et des galets. C.D.U. édit., Paris, t.1, 376 p.

CALLOT (G.) et JUSTE (C.),
1971 - Caractérisation des sols humifères, acides, développés sur les alluvions anciennes des gaves pyrénéens. Sc. du sol, 2, p. 5-26.

CAMEZ (T.),
1962 - Etudes sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées. Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., n° 20, 90 p.

CARCENAC (C.), COINCON (R.) et TAILLEFER (F.),
1969 - Carte géomorphologique du Mas-d'Azil sud-est (notice). R.G.P.S.O., 40, 4, p. 329-351.

CARTAILHAC (E.) et BREUIL (H.),
1910 - Les peintures et gravures murales des cavernes pyrénéennes. L'Anthropologie, p. 149-150.

CASTERAS (M.),
1933 - Recherches sur la structure du versant nord des Pyrénées centrales et orientales. B.S.C.G.F., 37, n° 189, 524 p.

CAVAILLE (A.),
1951 - Les sols de boulbène de l'Aquitaine et les climats quaternaires. R.G.P.S.O., XXII, 2-3, p. 199-206.

1958 - Sols et séquences de sols en coteaux de Terrefort aquitain. B.A.F.E.S., 94, p. 4-22.

1965 - Les unités morphologiques des basses plaines de la Garonne. R.G.P.S.O., XXXVI, 3, p. 243-278.

1969a - Les terrasses de la Garonne à l'ouest de Toulouse. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 10-16.

1969b - Formations superficielles et sols des coteaux molassiques au sud-est de Toulouse. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 16-23.

CHALINE (J.),
1970 - Les Rongeurs du Pléistocène moyen et supérieur de France. Thèse Fac. Sc. Dijon, multigr., 976 p. (1973, CNRS édit., Paris, 410 p.).

1972 - Le Quaternaire. L'histoire humaine dans son environnement. Doin, édit., Paris, 338 p.

CHALINE (J.) et MICHAUX (J.),
1969 - Evolution et signification stratigraphique des Arvicolidés du genre Mimomys dans le Plio-pléistocène de France. C.R.Ac.Sc., D, 2[illegible], p. 3029-3032.

CHAPUT (E.),
1924 - L'origine des terrasses de la Garonne. B.S.C.G.F., 24, p. 449-461.

1927 - Recherches sur l'évolution des terrasses de l'Aquitaine. B.S.H.N. Toulouse, [illegible]

1928 - Le loess sur la terrasse inférieure de la Garonne à l'ouest de Toul[illegible]

CHATELIN (Y.),
1972 - Eléments d'épistémologie pédologique. Application à l'étude des sols ferrallitiques. [illegible]

CHOUBERT (G.), JOLY (F.), [illegible]
et RAYNAL (R.),
1956 - Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc. C.R.Ac.Sc., 2[illegible]3, p. 50[illegible]-506.

C.P.C.S. (Comm. de Pédol. et de Cartogr. des Sols),
1967 - Classification des sols. Publ. Labo. Pédol.-Géol. de l'ENSA de Grignon, multigr., 87 p.

D'HOORE (J.),
1964 - La carte des sols d'Afrique au 5 000 000e. Mémoire explicatif. Comm. Coop. Techn. Afrique, publi. n° 93, Lagos, 209 p.

DIMAS (M.),
1969 - Contribution à l'étude des sols rouges méditerranéens. Thèse Fac. Sc. Toulouse, 122 p.

DRESCH (J.),
1969 - Le creusement quaternaire des vallées. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 57-68.

DUCHAUFOUR (P.),
1953 - Note sur la touya béarnaise et son sol. Ann. Ecole Nat. Sup. Agro. Toulouse, 1, p. 69-71.

1968 - L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. Masson et Cie, édit., Paris, 94 p.

1970 - Précis de pédologie. Masson et Cie, édit., Paris, 481 p.

DUCLOUX (J.), DUPUIS (J.), GUILLIEN (Y.) et PUISSEGUR (J.J.),
1970 - Paléosols interglaciaires des grèzes de Beaumont et d'Echoisy (Charentes). B.A.F.E.Q., 2-3, p. 121-133.

DUDAL (R.),
1953 - Etude morphologique et génétique d'une séquence de sols sur limon loessique. Agriculture (Louvain), 1, (2), n° 2, p. 119-163.

DUPLAIX (S.),
1956 - Etude pétrographique des formations meubles de la Gascogne, du pays basque et de leur littoral. Mém. Soc. Géol. France, 77, 106 p.

1958 - Détermination microscopique des minéraux des sables. Béranger édit., Paris-Liège, 2e édit., 96 p.

DUPUIS (J.),
1958 - Observations pédologiques dans le sud-ouest de la France. Ann. agro., 9, p. 1-60.

DURAND (J.H.),
1959 - Les sols rouges et les croûtes en Algérie. Publ. Serv. Etudes Scient. (S.E.S.), Alger, 188 p.

ELHAI (H.),
1964 - Biogéographie. Les paysages végétaux au Quaternaire en Europe occidentale. C.D.U. édit., Paris, 121 p.

1966 - Deux gisements du Quaternaire moyen, Bruges (sud-ouest de la France) et Bagnolas (Catalogne). B.A.F.E.Q., 1, p. 47.61.

1969 - Recherches palynologiques sur le Reuvérien et le Villafranchien en France. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 95-98.

ELHAI (H.) et GRANGEON (P.),
1963 - Nouvelles recherches sur le gisement villafranchien de Senèze (Haute-Loire, France). B.S.G.F., (7), 4, p. 483-488.

ELLENBERGER (F.) et GOTTIS (M.),
1967 - Jeu de faille pliocène et quaternaire dans l'arrière-pays narbonnais. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dynam., (2), IX, 2, p. 153-159.

ENJALBERT (H.),
1960 - Les pays aquitains. Le modelé et les sols. Imp. Bière, Bordeaux, 1, 618 p.

1972 - Les dépressions d'évidement du Massif central méridional. R.G.P.S.O., 43, 3, p. 353-374.

ERHART (H.),
1956 - La génèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson et Cie, édit., Paris, 90 p. 2e édit., 1967, 177 p.

ERICSON (D.B.), EWING (M.) et WOOLIN (G.),
1964 - The Pleistocene Epoch in Deep-sea sediments. Science (U.S.A.), 146, n° 3645, p. 723-732.

FABRE (L.A.),
1902 - L'érosion pyrénéenne et les alluvions de la Garonne. Ann. de Géogr., 11, p. 24-42.

1904 - Sur le glaciaire de la Garonne. Bull. Soc. Géogr. Toulouse, 23, p. 135-139.

FAGOT (P.),
1886 - Catalogue descriptif des Mollusques terrestres et d'eau douce de la région de Toulouse. B.S.H.N. Toulouse, 20, 122 p.

FAUCHER (D.),
1931 - Note sur la dissymétrie des vallées de l'Armagnac. B.S.H.N. Toulouse, 56, p. 262-268.

1932 - Le glacier de l'Ariège dans la basse vallée montagnarde. Mélanges R. Blanchard, Grenoble, p. 183-199.

1937 - Glaciaire pyrénéen et vallées sous-pyrénéennes. Mélanges E.F.Gautier, Tours, p. 213-222.

FEDOROFF (N.) et ROSSIGNOL (J.P.),
1969 - Les boulbènes sur limons des terrasses de la Garonne (région d'Agen). B.A.F.E.S., 5, p. 37-52.

GABERT (P.),
1962 - Les plaines occidentales du Pô et leurs piedmonts (Piémont, Lombardie occidentale et centrale). Etude morphologique. Imp. Louis Jean, Gap, 531 p.

GAC (J.Y.),
1968 - Les altérations de quelques roches cristallines des Vosges. Etude minéralogique et géochimique. Thèse Fac. Sc. Strasbourg, multigr., 77 p.

GARNIER (M.),
1967 - Climatologie de la France. Sélection de données statistiques. Mémorial de la Météorologie nationale, n° 50, 294 p.

GAUCHER (G.),
1947 - Sur l'âge des sols rouges nord-africains. C.R.Cong. int. pédol. Montpellier-Alger 1947, p. 373-376.

1972 - Contribution de la géomorphologie à la prospection pédologique. Ann. de Géogr., 448, p. 697-710.

GAUSSEN (H.),
1934 - Carte de la pluviosité annuelle du sud-ouest de la France et des Pyrénées au 500 000e, Ministère Trav. Pub. Paris.

GEZE (B.),
1947 - Le Congrès international de pédologie de Montpellier-Alger (mai 1947). Notes et réflexions. Ann. Ecole Nat. Agri. Montpellier, 4, 27, 25 p.

GIRARD (M.),
1973 - La brèche à Machairodus de Montmaurin (Pyrénées centrales). B.A.F.E.Q., 3, p. 195-209.

GORON (L.),
1937 - Les unités topographiques du pays ariégeois. Le rôle des cycles d'érosion tertiaires et des glaciations quaternaires dans leur morphologie. R.G.P.S.O., VIII, p. 300-334.

1941 - Le rôle des glaciations quaternaires dans le modelé des vallées maîtresses des Prépyrénées ariégeoises et garonnaises et de leur avant-pays. Thèse Lettres Toulouse, Privat édit., Toulouse, 460 p.

1942 - Les Prépyrénées ariégeoises et garonnaises. Essai d'étude morphologique d'une lisière de montagne. Thèse Lettres Toulouse, Privat édit., Toulouse, 884 p.

GUERASSIMOV (I.P.),
1959 - Pseudopodzols d'Europe centrale et développement des profils dans les alluvions (en langue russe). Izvest. Akad. Nauk URSS, série Géogr., n° 3 (s.p.).

HARLE (E.),
1891 - Coupe du gisement dans le repère d'Hyènes de Montsaunès (Haute-Garonne). B.S.H.N.Toulouse, 26, p. 9-11.

1894 - Découverte d'ossements d'Hyènes rayées dans la grotte de Montsaunès (Haute-Garonne). B.S.G.F., 22, p. 234-241.

1895 - Observations sur les alluvions de la Garonne dans la région de Toulouse. B.S.G.F., 23, p. 409-503.

1898 - Notes sur la Garonne. B.S.H.N.Toulouse, 32, p. 149-198.

HUBSCHMAN (J.),
1967 - Sols, pédogénèses et climats quaternaires dans la plaine des Triffa (Maroc). Thèse Doct.-Ing. Fac. Sc. Toulouse, multigr., [illegible] p.

1970 - Sols et formations à "aiguilles" gréso-calcaires dans le bassin du Drader (littoral atlantique, sud de Larache, Maroc). B.S.H.N. Toulouse, 106, p. 117-126.

1971a - Limons rouges et gris quaternaires récents et érosion sélective au Maroc oriental. Zeitschrift für Geomorph. [illegible] N.F., 15, 3, p. 261-273.

HUBSCHMAN (J.),
1971b - Le lehm de Toulouse-Rangueil : signification pédologique et implications géochronologiques. Comm. 96e Congr. Soc. Sav. Toulouse (à paraître).

1971c - Lessivage, pseudopodzolisation et pseudogley (exemple de la région toulousaine, sud de la France) (en langue russe, résumé anglais). Potchvovédénié (URSS), 6, p. 22-28.

1972a - Observations pédologiques sur le Quaternaire du Lauragais toulousain. B.A.F.E.Q., 1, p. 31-49.

1972b - L'âge de la basse plaine garonnaise, des Pyrénées au confluent du Tarn. C.R.Ac.Sc., D, 275, p. 651-653.

1972c - Sols et paysages : quelques problèmes d'écologie du sol. R.G.P.S.O., 43, 2, p. 147-156.

1973 - Etablissement, par l'étude des faciès d'altération, d'un schéma stratigraphique du Quaternaire garonnais et ariégeois. C.R.Ac.Sc., D, 277, p. 753-755.

HUBSCHMAN (J.) et LE RIBAULT (L.),
1972 - Détermination, par exoscopie des quartz, de l'origine des limons quaternaires dans le sud-est du Bassin Aquitain. C.R.Ac.Sc., D, 275, p. 1477-1480.

ICOLE (M.),
1969a - Age et nature de la formation dite de Lannemezan. R.G.P.S.O., 40, 2, p. 157-170.

1969b - Intérêt paléopédologique des cortex d'altération des galets de quartzite au sommet du Pliocène et du Villafranchien des Pyrénées. C.R.Ac.Sc., D, 268, p. 2240-2243.

1970a - Une nouvelle méthode pour la paléopédologie du Pliocène et du Villafranchien des Pyrénées centrales : l'étude des galets de quartzite à cortex d'altération. B.A.F.E.Q., 2-3, p. 135-143.

1970b - "Paléosols" ou "vieux sols" au sommet d'alluvions du Mindel des Pyrénées. C.R.Ac.Sc., D, 271, p. 1852-1854.

1971a - Essai d'une paléopédologie du Quaternaire. Enseignements tirés d'une étude sur le piémont nord-pyrénéen. Sc. du Sol, 1, p. 93-110.

1971b - Contribution à la connaissance des paléosols et à celle de l'altération des roches au cours du Quaternaire. Etude des galets à cortex du sommet des nappes d'alluvions du piémont nord-pyrénéen. Sc. du Sol, 2, p. 83-95.

1971c - Accumulation d'halloysite dans les paléosols des terrasses mindéliennes et du Quaternaire ancien des Pyrénées nord-occidentales. C.R.Ac.Sc., D, 272, p. 1216-1218.

1973 - Géochimie des altérations dans les nappes d'alluvions du piémont occidental nord-pyrénéen. Essai de paléopédologie quaternaire. Thèse Sciences Paris, multigr., 328 p.

JACKSON (M.L.),
1959 - Frequency distribution of clay minerals in major great soil groups as related to the factors of soil formation. Clays and clay minerals (2nd Nat. Conf., 1957), p. 133-143.

JALUT (G.),
1969 - La végétation dans les Vosges, le Jura, les Alpes septentrionales et les Pyrénées pendant le Tardiglaciaire et le Postglaciaire. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 116-124.

JAMAGNE (M.),
1969 - Données sur l'évolution pédogénétique des formations limoneuses en Europe occidentale (Colloque sur les limons du bassin de Paris). Mém. h. sér. Soc. Géol. France, n° 5, p. 37-52.

1970 - Sur la mise en évidence d'une séquence d'évolution pédogénétique développée dans les formations limoneuses sous climat tempéré humide. C.R.Ac.Sc., D, 270, p. 1773-1775.

1972 - Caractères micromorphologiques des sols développés sur formations limoneuses. B.A.F.E.S., 1-2, p. 9-32.

JENNY (H.),
1941 - Factors of soil formation. McGraw-Hill, B.Co., édit., New-York Londres, 270 p.

KING (L.C.),
1967 - Morphology of the Earth. Oliver and Boyd, édit., Edimbourg-Londres, 2e édit., 728 p.

KORSOUNOV (V.M.),
1970 - Caractères génétiques des sols profondément podzolisés de la taïga noire de Salaïr ; quelques données sur leur développement actuel (en langue russe). Mém. Rech., Akad. Nauk URSS (sect. sibérienne), Novosibirsk, multigr., 33 p.

KRINSLEY (D.H.),
1962 - Surface texture of sand grains : an application of electron microscopy. Science (USA), 135, p. 923-925.

LAFOND (R.),
1965 - Cycle cristallographique des kaolinites au cours des phénomènes superficiels en zone tropicale. C.R.Ac.Sc., 260, p. 5320-5323.

LAGASQUIE (J.J.),
1968 - Les dépressions granitiques d'Erp et Soulan (Pyrénées du Couserans). R.G.P.S.O., 39, 2, p. 137-149.

1969a - Les terrasses du Salat dans le bassin de Saint-Girons. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 48-55.

1969b - Le bassin de Saint-Girons et la vallée du Baup (Pyrénées du Couserans), étude morphologique. R.G.P.S.O., 40, 3, p. 267-286.

1971 - L'évolution quaternaire du Piémont pyrénéen et des vallées de l'Arbas et du bas Salat. B.S.H.N.Toulouse, 107, p. 125-134.

1972 - Etude géomorphologique des dépressions granitiques de la moitié orientale des Pyrénées. Thèse Univ. Toulouse-Le Mirail, multigr., 114 p.

LAMOUROUX (M.),
1971 - Etude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogénèse fersiallitique au Liban. Thèse Sciences Strasbourg, multigr., 314 p.

LATOUCHE (C.),
1971 - Etude des minéraux argileux des formations graveleuses plio-quaternaires des feuilles géologiques au 80 000e de Bordeaux et de Lesparre. Bull. BRGM, (2), 1, n° 1, p. 25-34.

LAUTRIDOU (J.P.),
1968 - Les loess de Saint-Romain et de Mesnil-Esnard (Pays de Caux). Bull. Centre Géomorph.CNRS Caen, 2, 55 p.

LAVILLE (H.),
1969 - Le remplissage des grottes et abris du sud-ouest de la France. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 77-80.

LEGER (M.),
1970 - Paléosols quaternaires de l'avant-pays au nord des Alpes. B.A.F.E.Q., 2-3, p. 167-178.

LEGER (M.), LOSCHER (M.) et PUISSEGUR (J.J.),
1972 - Les terrasses de la vallée de la Mindel en aval de Jettingen. B.A.F.E.Q., 2, p. 135-151.

LELONG (F.),
1967 - Nature et génèse des produits d'altération de roches cristallines sous climat tropical humide (Guyane française). Thèse Fac. Sciences Nancy, multigr., 183 p.

LENEUF (N.),
1959 - L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Mém. ORSTOM, 212 p.

LE RIBAULT (L.),
1971a - Présence d'une pellicule de silice amorphe à la surface de cristaux de quartz des formations sableuses. C.R.Ac.Sc., D, 272, p. 1933-1936.

1971b - Comportement de la pellicule de silice amorphe sur les cristaux de quartz en fonction des différents milieux évolutifs. C.R.Ac.Sc., D, 272, p. 2649-2652.

1972a - Exoscopie. Publ. Lab. Sédimento. Univ. Paris-sud(Orsay), multigr., 53 p.

1972b - Exoscopie : caractères distinctifs des quartz à évolution fluviatile. C.R.Ac.Sc., D, 274, p. 3190-3193.

1972c - Exoscopie : caractères distinctifs des quartz à évolution marine. C.R.Ac.Sc., D, 275, p. 735-738.

LEROI-GOURHAN (A.),
1967 - Pollens et datation de la grotte de la Vache (Ariège). Bull. Soc. Préhist. Ariège, XXII, s.p.

LEVEQUE (A.),
1972 - Les trois principaux types de toposéquences et les grands traits de la pédogénèse sur le socle cristallophyllien du Centre-Togo. Bull. liaison Thème B, Com. tech. pédol. ORSTOM, multigr., 3, p. 15-28.

LOBREAU-CALLEN (D.) et SUC (J.P.),
1972 - Présence de pollens de Microtopis fallax (Celastraceae) dans le Pléistocène inférieur de Celleneuve (Hérault). C.R.Ac.Sc., D, 275, p. 1351-1354.

LUMLEY-WOODYEAR (H. de),
1965 - Evolution des climats quaternaires d'après le remplissage des grottes de Provence et du Languedoc méditerranéen. B.A.F.E.Q., 2, p. 165-170.

1969 - Les civilisations préhistoriques en France. Corrélations avec la chronologie quaternaire. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 151-169.

1971 - Le Paléolithique inférieur et moyen du Midi méditerranéen dans son cadre géologique. Gallia-Préhistoire, Ve suppl., II (Languedoc-Roussillon-Catalogne), 443 p.

1972 -(Ouvrage collectif). La grotte de l'Hortus (Valflaunès, Hérault). Les chasseurs néandertaliens et leur milieu de vie. Etudes quaternaires, mém. n° 1, Labo. Paléonto. hum. et Préhist. Univ. Provence, Marseille, 656 p.

MALLET (J.) et LIWERANT (J.),
1956 - "Bouconne", chênaie dégradée du pays toulousain. Rev. Forest. Fr., 11, 27 p.

MARCELIN (P.),
1947 - Observations sur des terres et des sols en région méditerranéenne. Terres et sols en Costière. Nîmes, 146 p.

MARGULIS (H.),
1963 - Pédologie générale. Gauthier-Villars édit., Paris, 117 p.

MARTY (J.R.),
1969 - Les boulbènes. Caractères et propriétés physiques. Conséquences agronomiques. Publ. INRA Toulouse, multigr., [illegible] p.

MEROC (L.),
1953 - La conquête des Pyrénées par l'Homme. Act. 1e Cong. int. spéléo., 4, 4, p. [illegible].

1954 - Préhistoire du plateau de Lannemezan. Gallia-Préhistoire, 12, 1, p. 108-1[illegible]9.

1969a - Les alluvions de la basse vallée du Volp, leurs limons et leurs industries préhistoriques. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, [illegible], p. 24-28.

1969b - La grotte peinte de [illegible]. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 65-66.

MEROC (L.) et PALOUME (J.),
1958 - Nouvelles fouilles à l'Infernet, commune de Clermont-le-Fort (Haute-Garonne). B.S.H.N.Toulouse, 43, p. 305-328.

MEYER (B.),
1960 - Zeitmarken in der Entwicklung mitteldeutscher Löss-und kalksteinböden. Proc. 7th int. Cong. Soc. of Soil Science, Madison 1960, IV, 5, n° 25, p. 117-183.

MICHAUX (J.),
1966 - Sur deux faunules de Micromammifères trouvées dans des assises terminales du Pliocène en Languedoc. C.R.S.G.F., (9), p. 343.

MICHAUX (J.),
1971 - Histoire de la faune de Rongeurs de l'Europe sud-occidentale au cours du Pliocène et du Pléistocène inférieur. Thèse Sciences Montpellier, multigr., 63 p.

MILLOT (G.),
1964 - Géologie des argiles. Masson et Cie, édit., Paris, 499 p.

MISKOVSKY (J.C.),
1971 - Stratigraphie et paléoclimatologie du Quaternaire du Midi méditerranéen d'après l'étude sédimentologique du remplissage des grottes et abris sous roches. B.A.F.E.Q., 4, p. 259-275.

MORZADEC-KERFOUN (M.T.),
1969 - La végétation en France de la fin du Villafranchien au début du Würm. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 98-103.

MOULINE (M.), BIROT (P.) et PAQUEREAU (M.),
1969 - Le rebord nord-est de la Montagne Noire dans la région de Revel. Livret-guide excursion A 6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 106-109.

MOUTTAPA (F.),
1962 - La forêt de Bouconne. Relations entre le sol et la végétation. Bull. Serv. Carte Phytogéogr. CNRS, A, VI, 1, p. 5-43.

NICOLAS (J.) et VERDIER (J.),
1965 - Contribution à l'étude géochimique de l'altération des terrains métamorphiques de la Sierra de Imataca (Rio Caroni-Guyane vénézuélienne). Rev. Géogr. Phys. Géol. Dynam., (2), VII, 4, p. 311-321.

NOULET (J.B.),
1834 - Précis analytique de l'histoire naturelle des Mollusques terrestres et fluviatiles qui vivent dans le Bassin sous-pyrénéen. Paya édit., Toulouse, 94 p.

OBERMAIER (H.),
1906 - Beitrage zur Kenntniss des Quärtärs in den Pyrenäen. Arch. für Anthropo. (Brunswick), N.F., 4, p. 299-310 et 5, p. 244-262.

OLDFIELD (F.),
1967 - The Quaternary succession in southwestern France and its correlation. Rev. Paleobot. Palynol. (G.B.), 2, p. 255-259.

PAQUEREAU (M.M.) et THIBAULT (C.),
1972 - Présence d'alluvions à l'interglaciaire Mindel-Riss dans la région d'Heugas (Landes). C.R.Ac.Sc., D, 274, p. 1621-1624.

PAQUET (H.),
1970 - Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens tropicaux à saisons contrastées. Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., n° 30, 212 p.

PAQUET (H.), RUELLAN (A.), TARDY (Y.) et MILLOT (G.),
1969 - Géochimie d'un bassin versant au Maroc oriental. Evolution des argiles dans les sols des montagnes et des plaines de la Basse Moulouya. C.R.Ac.Sc., D, 269, p. 1839-1842.

PATIN (J.),
1966 - Erosion et sédimentation sur le piémont des Pyrénées centrales, du Tortonien moyen au Quaternaire ancien. Thèse Fac. Lettres Toulouse, multigr., 2 t., 152 p. + 156 p.

1967 - L'évolution morphologique du plateau de Lannemezan. R.G.P.S.O., 38, 4, p. 325-337.

PAYET (O.),
1971 - Hydrogéologie des terrasses alluviales de la Garonne entre Montréjeau et Martres-Tolosane (Haute-Garonne). Thèse Université P. Sabatier Toulouse, multigr., 116 p.

PEDRO (G.),
1964 - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse Fac. Sciences Paris, multigr., 344 p.

PEDRO (G.) et LUBIN (J.C.),
1968 - Etudes sur l'évolution géochimique de gels alumino-siliciques et la formation d'hydroxydes d'aluminium en conditions de libre drainage. Ann. Agro., 19, 3, p. 293-348.

PENCK (A.),
1885 - La période glaciaire dans les Pyrénées. B.S.H.N.Toulouse, 19, p. 105-200.

PLANCHAIS (N.),
1969 - La végétation dans les plaines françaises pendant le Tardiglaciaire et le Postglaciaire. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 111-115.

POLYNOV (B.B.),
1937 - The cycle of weathering. Th. Murby, édit., Londres, 220 p.

PONS (A.),
1964 - Contribution palynologique à l'étude de la flore et de la végétation pliocènes de la région rhodanienne. Ann. Sciences Nat. Bot. Paris, (12), 5, p. 499-722.

1969 - Flore et végétation du Pliocène de France. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 93-94.

PUJOS (A.),
1957 - Terres rouges, noires et grises (problèmes de coloration et de datation des sols méditerranéens étudiés en Afrique du Nord). Soc. Sciences nat. phys. Maroc, sect.pédol., 12, p. 69-85.

RAMANN (E.),
1911 - Bodenkunde. J.Springer, édit., Berlin, 282 p.

RAYNAL (R.),
1961 - Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental). Etude géomorphologique. Imp. Inframar, Rabat, 617 p.

REGNAULT (F.),
1883 - La grotte de Gargas. B.S.H.N.Toulouse, 17, p. 237-258.

1884 - La grotte de Gargas. B.S.H.N.Toulouse, 18, p. 241-247.

1885 - Un repaire d'Hyènes dans la grotte de Gargas. B.S.H.N.Toulouse, 19, p. 30-35.

REIFENBERG (A.),
1947 - Soils of Palestine. Th. Murby, édit., Londres, 174 p.

REFEL (J.C.),
1972 - Recherches sur l'origine de la rubéfaction des terres rouges méditerranéennes. Thèse Doct.-Ing. Univ. P.Sabatier Toulouse, multigr., 104 p.

RICHARD (M.),
1946 - Contribution à l'étude du Bassin d'Aquitaine. Les gisements de Mammifères tertiaires. Mém. Soc. Géol. Fr., 24, n° 52, 380 p.

RIEUCAU (L.),
1957 - Morphologie des terrasses supérieures et moyennes de la Garonne entre les Petites Pyrénées et le Touch. Rev. Géomorpho. Dynam., 5-6, p. 87-92.

1958a - Les terrasses de la Garonne dans l'Agenais. B.S.G.F., 6, 8, p. 325-338.

1958b - Les hauts niveaux des terrasses de la Garonne, entre les Petites Pyrénées et l'Auroue. R.G.P.S.O., XXIX, 4, p. 343-350.

1971 - Des arbres fossiles dans la basse plaine de la moyenne Garonne. C.R.S.G.F., 6, p. 317-318.

RISLER (E.),
1884 - Géologie agricole. Berger-Levrault, édit., Paris, 311 p.

RODE (A.A.),
1961 - The soil forming process and soil evolution. Israel Program for Scientific Translations, Jérusalem, 104 p.

ROUGERIE (G.),
1960 - Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. Mém. IFAN n° 58, Dakar, 542 p.

RUELLAN (A.),
1967 - Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc. Cah. ORSTOM, sér. pédol., 5, 4, p. 421-462.

RUELLAN (A.),
1970 - Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes. Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc oriental). Thèse Sciences Strasbourg, multigr., 482 p. (1973, Mém. ORSTOM n° 54, 304 p.).

1971a - Le thème B en Haute-Volta et au Togo. Compte-rendu de l'état d'avancement des recherches de R. Boulet, B. Kaloga, J.C. Leprun et A. Lévêque. Bull. liaison Thème B, Com. tech. pédol. ORSTOM, multigr., 1, p. 11-24.

1971b - The history of soils : some problems of definition and interpretation. Paleopedology - Origin, nature and dating of paleosols. Ed. D.H.Yaalon, Int. Soc. Soil, Sc., Israel Univ. Press, Jesuralem, p. 3-12.

SAINT-PERIER (R. de),
1922 - Nouvelles recherches dans la caverne de Montmaurin (Haute-Garonne). L'Anthropologie, 32, 3-4, p. 193-202.

SALISBURY (E.J.),
1925 - Note on the edaphic succession in some dune soils with special reference to the time factor. Journ. Ecology (G.B.), 13, p. 37-43.

SALLELES (A.),
1957 - L'âge des volcans de la basse vallée de l'Hérault d'après la stratigraphie magnétique et la datation absolue par la méthode à l'argon. Ann. Soc. Horti. Hist. Nat. Hérault, 107, 1, p. 48-51.

SEGALEN (P.),
1964 - Le fer dans les sols. Doc. tech. ORSTOM, 150 p.

SIEFFERMANN (G.) et MILLOT (G.),
1968 - Evolution et dégradation des phyllites dans les vieux sols ferrallitiques sur basaltes du Centre. Cameroun. Sc. du sol, 2, p. 105-117.

SUC (J.P.),
1972 - Contribution palynologique à l'étude des marnes de Celleneuve (Hérault). Thèse Univ. Sc. Tech. Montpellier, multigr., 93 p.

TAILLEFER (F.),
1948 - Sur le rôle morphologique des nappes d'alluvions caillouteuses du Bassin d'Aquitaine. C.R.Ac.Sc., 227, p. 978-980.

1949 - Les bassins glaciaires d'Arudy et de Lourdes et le détournement des Gaves d'Ossau et de Pau. Mélanges D. Faucher, Toulouse, 1, p. 449-465.

1951a - Le Piémont des Pyrénées françaises. Contribution à l'étude des reliefs de piémont. Privat, édit., Toulouse, 383 p.

1951b - Le modelé périglaciaire dans le sud du Bassin d'Aquitaine. R.G.P.S.O., XXII, 2-3, p. 113-123.

1953 - Coulées de pierres et brèches litées quaternaires dans les Pyrénées ariégeoises. B.S.H.N.Toulouse, 88, p. 249-258.

1954 - La terminaison du glacier de la Garonne au sud de Montréjeau. Bull. Sect. Géogr. Com. Trav. Hist. et Sc. (Actes 78e Cong. Soc. Sav. Toulouse, 1953), 66, p. 271-282.

TAILLEFER (F.),

1957 - Glaciaire pyrénéen : versant nord et versant sud. R.G.P.S.O., XXVIII, 3, p. 221-244.

1960 - Les terrasses d'obturation glaciaire de la vallée de Saurat (Ariège). R.G.P.S.O., XXXI, 1, p. 45-61.

1963 - Piedmonts des Alpes italiennes et des Pyrénées françaises. R.G.P.S.O., XXXIV, 2, p. 115-137.

1966 - Quaternaire et géomorphologie sur le versant nord des Pyrénées centrales. R.G.P.S.O., XXXVII, 1, p. 47-57.

1969a - Les glaciations des Pyrénées. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Congrès INQUA, Paris), p. 19-32.

1969b - Terrasses de la vallée sous-pyrénéenne de la Neste-Garonne et morphologie glaciaire de la vallée de la Garonne. Livret-guide excursion A6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Congrès INQUA, Paris, p. 39-47.

1969c - Le Quaternaire de la vallée de l'Ariège. Livret-guide excursion A6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Congrès INQUA, Paris, p. 58-65.

1973 - Le glaciaire de Foix. Ann. Féd. Pyr. Econ. Montagn. (Toulouse), XXIX, s.p.

TAILLEFER (F.) et DURAND (M.C.),
1959 - Les argiles à varves de Sibian, près de Foix (Ariège). B.S.H.N.Toulouse, 94, p. 253-261.

TARDY (Y.),
1969 - Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., n° 31, 199 p.

THIBAULT (C.),
1970 - Recherches sur les terrains quaternaires du bassin de l'Adour. Thèse Sciences Bordeaux, multigr., 814 p.

TRICART (J.),
1965a - Principes et méthodes de la géomorphologie. Masson et Cie, édit., Paris, 496 p.

1965b - Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes. SEDES, édit., Paris, 322 p.

1972 - La Terre, planète vivante. Coll. Sup., PUF édit., Paris, 184 p.

1973 - La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. Ann. Géogr., 452, p. 421-453.

TRICART (J.), HIRSCH (A.R.) et GRIESBACH (J.C.),
1966 - La géomorphologie du bassin du Touch (Haute-Garonne). R.G.P.S.O., XXXVII, 1, p. 5-46.

TRICART (J.) et MICHEL (P.),
1965 - Morphogénèse et pédogénèse. Approche méthodologique ; géomorphologie et pédologie. Sc. du sol, 1, p. 69-85.

U.S.D.A. (U.S. Department of Agriculture),
1960 - Soil classification. A comprehensive system. 7th Approximation. Soil Survey St., Soil Conserv. Serv., 295 p. (1967, supplement to soil classification system - 7th Approximation).

VAN CAMPO (M.),
1969 - Végétation würmienne en France. Données bibliographiques. Hypothèse. B.A.F.E.Q. (supplément 8e Cong. INQUA, Paris), p. 104-111.

VATAN (A.),
1944 - Premiers résultats d'une étude de l'origine du matériel sédimentaire du Bassin aquitain. C.R.S.G.F., 8, p. 83-85.

1945 - Etude minéralogique des provinces distributives du matériel sédimentaire d'Aquitaine. B.S.G.F. (5), 15, p. 657-670.

VERNET (J.L.),
1967 - Premiers résultats de l'étude anatomique de charbons de bois préhistoriques de la région méditerranéenne française. B.A.F.E.Q., 3, p. 211-222.

1972 - Contribution à l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire. Etude de macroflores, de charbons de bois principalement. Thèse Sciences Montpellier, multigr., 104 p.

VIENNOT (P.),
1927 - Recherches structurales dans les Pyrénées occidentales françaises. B.S.C.G.F., 30, n° 163, 968 p.

VIERS (G.),
1960 - Pays basque français et Barétous. Le relief des Pyrénées occidentales et leur Piémont. Privat, édit., Toulouse, 604 p.

1963 - Les moraines externes de la Cerdagne et du Capcir (Pyrénées orientales, France) et leurs rapports avec les terrasses alluviales. VIth Int. Cong. Quaternary, Warsaw 1961, Lodz, (III), p. 385-393.

1966 - Les Pyrénées. Coll. Que Sais-Je ?, P.U.F., édit., Paris, 2e édit., 128 p.

1969a - Pau - Saint-Palais - Saint-Jean-Pied-de-Port - Saint-Etienne de Baigorry - Les Aldudes - Bayonne. Livret-guide excursion C12, Pyrénées occ., littoral basque et landais, 8e Cong. INQUA, Paris, p. 45-49.

1969b - Cerdagne et Capcir. Livret-guide excursion A6, Pyrénées orient. et cent., Roussillon, Languedoc occ., 8e Cong. INQUA, Paris, p. 67-72.

VIRET (J.),
1954 - Le loess à bancs durcis de Saint-Vallier (Drôme) et sa faune de Mammifères villafranchiens. Nouv. Arch. Muséum Hist. Nat. Lyon, 4, 200 p.

WEAVER (C.E.),
1959 - The clay petrology of sediments. Clays and clay min. (6th Nat. Conf., 1957), p. 154-187.

WEED (S.B.) et NELSON (L.A.),
1962 - Occurrence of chlorite-like intergrade clay mineral in coastal plain, piedmont and mountain soils in North Carolina. Soil Science Soc. Amer. Proc. (USA), 26, 4, p. 393-398.

WERNERT (P.),
1957 - Contribution à la stratigraphie paléontologique et préhistorique des sédiments quaternaires d'Alsace. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., n° 14, 262 p.

YAALON (D.H.) (Editor),
1971 - Paleopedology - Origin, Nature and Dating of Paleosols. Int. Soc. Soil Sc., Israel Univ. Press, Jesuralem, 320 p.

ZONN (S.V.),
1970 - Sur le processus de podzolisation et de pseudopodzolisation et sur la manifestation de ce dernier dans les sols de l'URSS (en langue russe, résumé français). Tech. econ. bull. geol. Inst., Bucarest, C, 18, p. 451-464.

LISTE DES FIGURES

		Pages
1 -	Piémont et avant-pays garonnais et ariégeois : croquis de localisation	13
2 -	Le versant nord des Pyrénées garonnaises et ariégeoises : esquisse structurale	17
3 -	Terrasses et moraines garonnaises au sud de Montréjeau	21
4 -	Les terrasses de l'Ariège à Foix	23
5 -	La Plaine de Rivière : coupe schématique au droit de Labarthe-de-Rivière	23
6 -	Principales dispositions morphologiques en Terrefort lauragais : esquisse schématique	29
7 -	Distribution des principales nappes alluviales dans l'avant-pays molassique	31
8 -	Coupe transversale schématique du versant gauche de la Garonne, suivant une lanière de plateau (Lomagne méridionale)	34
9 -	Coupe transversale schématique du versant gauche de la Garonne, au droit de Toulouse	36
10 -	Coupe transversale schématique dans la vallée de l'Ariège à hauteur de Pamiers	36
11 -	La rive droite de la Garonne, de Bourret au plateau de Lavilledieu-Montech	36
12 -	Quelques exemples de relations entre couvertures limoneuses et alluvions grossières	50
13 -	Allure des courbes cumulatives de distribution des sables dans les couvertures limoneuses	53
14 -	Esquisse schématique de la répartition des formations loessiques et des limons éolisés dans l'avant-pays garonnais et ariégeois	67
15 -	Le loess à Toulouse - Bellevue	68
16 -	Placage loessique dans un vallon du Terrefort molassique, sous Pechbusque	68

		Pages
17 -	Placage loessique localisé, au-dessus de Salles-sur-Garonne	70
18 -	Dépôt à faciès loessique, au pied du talus de la basse terrasse garonnaise (Toulouse-Reynerie)	70
19 -	Importance respective de quelques espèces marquantes de minéraux lourds dans les couvertures limoneuses, les matrices fines des alluvions caillouteuses et la molasse : exemple de la nappe culminante garonnaise	78
20 -	Epaississement local des horizons lessivés dans les couvertures limoneuses	85
21 -	Recouvrements limoneux successifs sur les plateaux de piémont (plateau de Figarol, sud-ouest de Leudary)	85
22 -	Profils texturaux et calcaires de sols peu évolués des lits majeurs	95
23 -	Profils texturaux et ferrugineux de sols bruns modaux et bruns faiblement lessivés des niveaux récents de la bordure pyrénéenne	103
24 -	Profils texturaux et ferrugineux de sols bruns lessivés "modaux" des basses plaines de l'avant-pays molassique	113
25 -	Profil schématique des sols bruns lessivés "modaux" des basses plaines de l'avant-pays	116
26 -	Relations entre l'épaisseur des limons et l'altération du sommet de la nappe graveleuse, dans les sols bruns lessivés des basses plaines de l'avant-pays	118
27 -	Profils texturaux, ferrugineux et calcaires de sols bruns lessivés à horizons calcaires profonds des basses plaines de l'avant-pays	124
28 -	Profil schématique des sols bruns lessivés à horizons calcaires profonds des basses plaines de l'avant-pays	126
29 -	Profils texturaux et calcaires de sols bruns lessivés sur formations loessiques	132
30 -	Profils texturaux, ferrugineux et calcaires de sols du Terrefort molassique	135
31 -	Profils schématiques des sols bruns lessivés, sur les éléments de plateau du Terrefort molassique	137

32 - Toposéquences schématiques de sols en Terrefort molassique 113

33 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés et lessivés hydromorphes des basses terrasses de l'avant-pays, de la basse Boulbonne et du plateau de Lavilledieu-Montech 147

34 - Profil schématique des sols lessivés des basses terrasses de l'avant-pays molassique et des niveaux homologues 149

35 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés ou lessivés hydromorphes dans les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne 157

36 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés hydromorphes (et apparentés) des moyennes terrasses de l'avant-pays 166

37 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés hydromorphes (et apparentés) des hautes terrasses de l'avant-pays 167

38 - Profils texturaux et ferrugineux de sols lessivés hydromorphes (et apparentés) des nappes culminantes de l'avant-pays 168

39 - Principaux types de profils développés dans les couvertures limoneuses et au sommet des alluvions graveleuses des terrasses anciennes 171

40 - Deux modèles principaux de spectre de diffraction X dans les couvertures limoneuses 180

41 - Richesse en argile granulométrique de la matrice des graves, au-dessous des horizons II Bt 186

42 - Gradient d'altération des galets de roches cristallines grenues dans les profils des nappes graveleuses argilisées et colmatées 192

43 - Esquisse schématique des faciès de redistribution du fer dans les nappes graveleuses argilisées et colmatées 195

44 - Quelques exemples de la cristallinité différentielle des minéraux kaoliniques (spectres de diffraction X) dans les matrices des nappes graveleuses argilisées et colmatées 201

	Pages
45 - Pédogénèse et altération différentielle dans l'avant-pays et sur la bordure pyrénéenne	242
46 - Fer libre, fer total et taux de libération du fer dans les nappes graveleuses	332
47 - Modèle schématique de l'évolution morphoclimatique plio-quaternaire dans le piémont garonnais et ariégeois	469
48 - Grands types de sols et faciès d'altération. Localisation des profils	Hors texte
Planche I - (photos) - Etat de surface de quelques sables quartzeux	Hors texte

LISTE DES TABLEAUX

		Pages
	Etat de surface des sables quartzeux	60
	Cortège de minéraux lourds	74
3 -	Minéraux argileux des sols peu évolués	98
	Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés des basses plaines de l'avant-pays	120
	Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés à horizons calcaires de profondeur des basses plaines de l'avant-pays	127
	Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés sur matériaux loessiques	133
	Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns lessivés des aplanissements du Terrefort	139
8 -	Evolution des minéraux argileux dans les sols bruns calciques et les sols bruns calcaires des versants longs du Terrefort	141
9	Evolution des minéraux argileux dans les sols lessivés et les sols lessivés hydromorphes à horizons caillouteux profonds modérément arénisés de l'avant-pays	154
10 -	Evolution des minéraux argileux dans les formations à horizons caillouteux profonds inégalement arénisés et rubéfiés de la bordure pyrénéenne	161
11 -	Evolution des taux de magnésium échangeable du complexe absorbant dans les sols hydromorphes à profils de sols lessivés et les sols lessivés glossiques	176
12 -	Evolution des minéraux argileux dans les couvertures limoneuses des terrasses anciennes	183
13 -	Quelques exemples de variation du pH dans les graves argilisees et colmatées des moyennes terrasses de l'avant-pays	199
14 -	Cortèges de minéraux argileux dans les nappes graveleuses des moyennes terrasses de l'avant-pays molassique	203

Pages

15 - Cortèges de minéraux argileux dans les nappes graveleuses des hautes terrasses de l'avant-pays molassique 208

16 - Cortèges de minéraux argileux dans les alluvions graveleuses des nappes culminantes de l'avant-pays molassique 215

17 - Séquence évolutive globale et séquences évolutives partielles des sols sur couvertures limoneuses 316

18 - Esquisse typologique sommaire des formes de concentration du fer 346

TABLE DES MATIERES

TOME I

Pages

INTRODUCTION 4

PREMIERE PARTIE : Le cadre morphologique de la pédogénèse. Aperçu général 14

Chapitre I : Le versant nord des pyrénées garonnaises et ariégeoises 15

1 - Bref aperçu structural et lithologique 16

A - La zone axiale 16

B - Les massifs primaires nord-pyrénéens 18

C - La couverture secondaire plissée antécénomanienne 18

D - Les terrains du Crétacé supérieur et de l'Eocène 18

2 - Eléments de piémont et formations quaternaires 19

A - Eléments de piémont entre Garonne et Ariège 19

B - Terrasses alluviales et dépôts glaciaires dans les vallées principales 19

a) La Garonne au sud de Montréjeau et l'Ariège dans le bassin de Foix-Tarascon 20

b) Les grandes constructions alluviales 22

Chapitre II : L'avant-pays molassique et les grands couloirs alluviaux 26

1 - Le Terrefort molassique 27

A - La molasse 27

B - Le modelé du Terrefort lauragais 28

2 - Les grands couloirs alluviaux 30

A - Les hauts niveaux alluviaux 30

B - Hautes et moyennes terrasses 33

C - Basses terrasses et basses plaines 37

Pages

DEUXIEME PARTIE : Types de sols et d'altérations des formations quaternaires 39

Chapitre III : De la roche-mère au profil différencié 40

1 - Origine et constitution des roches-mères quaternaires 41

A - Structure schématique des grandes constructions alluviales 41

B - Eléments grossiers des nappes graveleuses : aperçu pétrographique 43

C - Faiblesse du remaniement des nappes 45

2 - Le problème des couvertures limoneuses 47

A - Des limons éoliens 48

a) Structure des recouvrements limoneux 49
b) Distribution des fractions sableuses 52
c) Le figuré des grains de quartz 59
d) Les formations loessiques : des placages strictement localisés 65

B - Limons autochtones ou limons remaniés 72

a) L'enseignement des minéraux lourds 73
b) Matrice des graves et couvertures limoneuses : des minéraux argileux contrastés 80

C - Plusieurs générations de limons ? 83

3 - Les critères pédologiques de l'évolution des profils 88

A - Pédogénèse et altération 88

B - Les critères de l'évolution 91

Chapitre IV : Des évolutions nulles aux évolutions ménagées 93

1 - Une évolution imperceptible : sols bruts et sols alluviaux brunifiés des lits majeurs 94

2 - Une évolution fort discrète : les constructions glaciaires et fluvio-glaciaires de la bordure pyrénéenne 100

Pages

3 - Une évolution ménagée : les grandes constructions alluviales de la bordure pyrénéenne 102

4 - Une altération très irrégulière : hauts placages morainiques de versant et dépôts d'obturation glaciaire du bassin de Tarascon 106

A - Les placages morainiques de versant 106

B - Les terrasses d'obturation du bassin de Tarascon 107

Chapitre V : Une évolution affirmée : les sols bruns lessivés des basses plaines de l'avant-pays 110

1 - Les sols bruns lessivés "acides" 111

A - Un profil textural clairement différencié 112

B - Les horizons graveleux : un discret gradient d'altération avec la profondeur 115

C - L'évolution des minéraux argileux 110

2 - Les sols bruns lessivés à horizons calcaires en profondeur 122

A - La différenciation des profils dans les couvertures limoneuses 122

B - La ségrégation du calcaire en profondeur 123

C - L'effacement des montmorillonites dans les horizons supérieurs 127

Chapitre VI : Le développement des profils dans les formations loessiques et le Terrefort molassique 129

1 - Les sols des placages à faciès loessiques 129

2 - La mosaïque de sols du Terrefort molassique 134

A - Les sols à profil différencié des éléments de plateau 134

B - Les sols à profil non ou peu différencié des versants longs 139

C - Les toposéquences du Terrefort lauragais 141

Chapitre VII : Des évolutions clairement exprimées : lessivage et arénisation 144

Pages

1 - Sols lessivés et sols hydromorphes à horizons caillouteux profonds modérément arénisés : les basses terrasses de l'avant-pays 145

A - Des sols lessivés 146

B - Les nappes graveleuses : des profils d'altération épais 148

C - Le développement des faciès hydromorphes 150

a) Des sols lessivés hydromorphes 151
b) Des sols hydromorphes à profil de sols lessivés 151

D - L'importance des minéraux à comportement de chlorites secondaires 152

2 - Rubéfaction et arénisation profondes dans les basses vallées de la bordure pyrénéenne 156

Chapitre VIII : Des évolutions très poussées : les nappes graveleuses argilisées, rubéfiées et kaolinisées 163

1 - Un nouveau stade d'altération 164

A - Des manteaux limoneux très évolués mais peu différenciés d'un niveau à l'autre 164

a) Des horizons fortement différenciés 165
b) L'invasion des faciès hydromorphes 170
- Ubiquité de l'hydromorphie 170
- Abondance des faciès glossiques 173
- La tendance aux planosols 175
- Les horizons à grep 177
c) Les minéraux argileux 179

B - Les faits majeurs : argilisation, colmatage et kaolinisation des nappes graveleuses 184

a) Un matériel profondément décomposé 184
b) Des matrices fortement argilisées, enrichies en kaolinite 185
c) Des nappes inégalement rubéfiées, mais régulièrement colmatées et"dégradées" 188

Pages

2 - Moyennes et hautes terrasses de l'avant-pays : des nappes caillouteuses à kaolinisation imparfaite 190

A - Les moyennes terrasses de l'avant-pays : galets cristallins encore abondants et kaolinites très désordonnées 190

a) Evolution du profil d'altération avec la profondeur 190
b) La mosaïque de pH 197
c) Les cortèges de minéraux argileux 199

B - Les hautes terrasses de l'avant-pays : des profils appauvris en galets cristallins, mais des kaolinites déjà mieux organisées 205

a) Un net gradient d'altération avec la profondeur 205
b) Des minéraux kaoliniques moins désordonnés 206

3 - Les nappes culminantes de l'avant-pays : des formations très altérées à minéraux kaoliniques abondantset bien cristallisés 211

A - Un matériel très fortement décomposé 211

B - Des édifices kaoliniques bien cristallisés 214

4 - Les traits spécifiques des plateaux de piémont 216

A - Des formations très remaniées 217

B - Les formations de piémont : deux générations de dépôts 226

TOME II Pages

TROISIEME PARTIE : L'interprétation chronologique et paléoclimatique des faits

Section 1 : L'établissement d'une stratigraphie quaternaire régionale 225

Chapitre IX - Premiers problèmes de corrélations : le rôle des bassins d'alimentation dans la pédogénèse et l'altération 226

1 - Avant-pays et bordure pyrénéenne : éléments de corrélation 227

A - Inventaire des nappes 227

a) Dans l'avant-pays molassique 227
b) Sur la bordure pyrénéenne 229

B - Premières corrélations 231

a) Moyennes terrasses de l'avant-pays et terrasse de Montréjeau - Saint-Gaudens 231
b) Moraines et terrasses 232

C - Avant-pays molassique et bordure pyrénéenne : l'évolution contradictoire des nappes "récentes" 233

2 - Les roches-mères des profils pédologiques superficiels : deux grandes provinces pétrographiques 235

A - Des matériaux géochimiquement contrastés 235

a) Des terrains encaissants de nature différente 235
b) Deux types de roches-mères 236

B - Niveaux d'inertie pédologique et évolution différentielle des profils superficiels 237

C - Inertie pédologique des couvertures limoneuses évoluées 240

3 - La double origine des matériaux cristallins 246

A - L'altération des massifs cristallins nord-pyrénéens 246

Pages

B - Les nappes des basses vallées montagnardes : des matériaux cristallins "préparés" 249

a) Moraines et nappes récentes de la bordure pyrénéenne 249

b) Les nappes inégalement arénisées et rubéfiées de la bordure pyrénéenne 251

c) Les témoins morainiques anciens 255

Chapitre X : Les grands étages quaternaires du piémont garonnais et ariégeois 257

1 - Le Würm, les basses plaines de l'avant-pays et les moraines récentes garonnaises et ariégeoises 259

A - Les sols bruns lessivés : une pédogénèse essentiellement postglaciaire 259

B - Les traces de l'épisode sec du Würm 261

a) Une seule phase d'éolisation 261

b) L'âge des loess 262

c) L'âge des basses plaines 263

C - Les moraines récentes : des formations würmiennes 265

D - La mise en place postglaciaire des lits majeurs 266

2 - Les niveaux antéwürmiens et les étages de la stratigraphie alpine 268

A - Le Mindel et les moyennes terrasses de l'avant-pays molassique 268

B - Les basses terrasses de l'avant-pays molassique : Riss ou "Würm ancien" ? 272

C - Indépendance d'une phase glaciaire ancienne, rissienne 274

D - Les formations antémindéliennes et le repère des nappes culminantes de l'avant-pays 278

Pages

a) Plateaux de piémont et nappes alluviales culminantes de l'avant-pays 278
b) Les hautes terrasses de l'avant-pays 281

3 - Le remodelage récent du Terrefort molassique 283

A - Les aplanissements du Terrefort : un façonnement récent 283

a) Les sols de plateau : des sols encore jeunes 285
b) Les replats du Terrefort : un dernier stade de façonnement würmien ? 288

B - La mise en place postglaciaire des colluvions de versants 290

4 - Quelques enseignements 292

A - L'insuffisance des indices purement morphologiques 292

a) La fragilité des critères altimétriques 292
b) Le modelé des nappes alluviales: sa faible valeur stratigraphique 296

B - Les données préhistoriques : des arguments peu fiables 298

a) Les industries lithiques : des gisements superficiels 298
b) Rareté et incertitude des indices paléontologiques 300

Section 2 : A la recherche des anciens climats quaternaires 304

Chapitre XI : La signification paléoclimatique des sols et des altérations 305

1 - La différenciation des profils dans les couvertures limoneuses 308

A - Rareté et localisation des formes de cryergie 310

B - La différenciation pédologique des manteaux limoneux au cours du Quaternaire : une séquence évolutive "normale", sans implication paléoclimatique majeure 313

Pages

C - Les formes de concrétionnement du calcaire et l'épisode sec de la seconde partie du Würm 323

a) Esquisse typologique 324
b) Esquisse interprétative 325

2 - L'évolution du fer dans les nappes détritiques 330

A - La rubéfaction : un très médiocre indicateur paléoclimatique 330

a) Un ensemble de mécanismes complexes et encore mal connus 335
b) Les sols rouges sur calcaire cristallin : un faux problème 336
c) Le développement des faciès rubéfiés dans les nappes alluviales : un phénomène lié à l'altération globale et aux modalités de l'hydromorphie 340

B - Greps et cuirassements ferrugineux : des concrétionnements de nappe banals 345

3 - L'évolution géochimique des argiles 351

A - Héritages et transformations dans les couvertures limoneuses 351

a) Importance de l'héritage 351
b) Dégradations et agradations 352

B - Les 3 âges de l'évolution géochimique des nappes alluviales graveleuses 354

a) Würm et Riss : un processus régulier et continu de type "tempéré" 354
b) Mindel et Günz : une kaolinisation imparfaite 355
c) La kaolinisation vigoureuse du Donau et des plateaux de piémont 357

C - Les interprétations paléoclimatiques de l'évolution géochimique des argiles dans les nappes antérissiennes 357

a) L'origine des minéraux kaoliniques 358

Pages

b) Le problème de la cristallinité différentielle des kaolinites 362

Chapitre XII : Le rôle du facteur temps dans la pédogénèse et l'altération des formations superficielles 365

1 - Energie d'altération et vitesse d'évolution 366

A - Kaolinites et gibbsite : des minéraux exclusivement "tropicaux" ? 366

B - Les manteaux d'altération kaoliniques tropicaux : une évolution depuis longtemps engagée 368

C - L'"énergie d'altération" : une variable du facteur temps 370

a) Les facteurs de la pédogénèse : des variables interdépendantes 370

b) L'effet cumulatif du temps 371

2 - Les conditions de néoformation des kaolinites dans les nappes antérissiennes garonnaises et ariégeoises 374

A - Vitesse des hydrolyses et solubilisation de la silice 374

B - Drainage et lessivage du milieu 376

a) Trois grands milieux géochimiques 376

b) Les remblaiements alluviaux du piémont garonnais et ariégeois : des milieux drainés à lessivage ménagé 377

c) Du Würm au Donau : une désaturation du milieu en bases, de plus en plus poussée 379

C - Gradients de néoformation des kaolinites dans les profils et d'une nappe à l'autre: abondance et cristallinité 381

3 - L'altération des nappes prérissiennes : héritages paléoclimatiques ou durées d'évolutions différentielles ? 385

A - Caractère relativement ménagé de l'altération kaolinique 387

Pages

a) Le rôle majeur des plagioclases 387
b) l'abondance de minéraux argileux non kaoliniques 388

B - Les faunes "chaudes" prérissiennes : un héritage du Tertiaire, en déséquilibre écologique 390

C - Longueur respective des phases de pédogénèse et discontinuités apparentes de l'évolution 394

4 - Un problème de terminologie : paléosols ou "archéosols" ? 399

A - L'"héritage" du XIXème siècle 399

B - "Des sols vieux mais bien vivants" 402

C - Paléosols et "archéosols" 407

Chapitre XIII - Pédogénèse, morphogénèse et paléoclimats dans le piémont garonnais et ariégeois : essai de synthèse 412

1 - Deux hypothèses de travail 414

A - Phases de morphogénèse et phases de pédogénèse 414

a) Biostasie et rhexistasie 415
b) Hétérostasie et phénomènes morphogéniques secondaires 416

B - La relative stabilité du sol depuis le Pliocène 420

2 - Le problème des glaciations anciennes 423

A - L'absence de preuves directes de phases glaciaires antérissiennes 423

B - Les présomptions d'une mise en place sous climat semi-aride des nappes prérissiennes 427

a) La rupture paléontologique du Riss 427
b) Epaisseur des nappes et taille des éléments grossiers 428
c) Modelé des nappes et largeur des épandages anciens 433

Pages

3 - Du Riss au Postwürm : un Quaternaire récent très bref 439

A - La période rissienne 439

B - L'interglaciaire Riss-Würm 444

C - La phase würmienne 445

a) Deux principaux stades würmiens 445
b) La morphogénèse du Würm I 447
c) La localisation des actions éoliennes au Würm II et ses implications 449

4 - Les grands traits de l'évolution morphoclimatique au cours des temps prérissiens 455

A - Les étapes de l'évolution post-danubienne 456

B - Pliocène ou Villafranchien inférieur ? Le problème de la limite Pliocène-Pleistocène dans le piémont garonnais et ariégeois 458

C - Néogène-Donau et Donau-Würm : deux types d'évolution morphoclimatique divergents 461

5 - Conclusion : le Quaternaire : une longue période de repos morphogénique, entrecoupée de brefs mais énergiques épisodes rhexistasiques 465

TOME III

ANNEXE : Caractères morphologiques et analytiques de profils pédologiques représentatifs

- Abréviations, signes et symboles utilisés 474

- Méthodes d'analyses 475

I - Sols peu évolués des lits majeurs et des zones bordières des basses plaines alluviales 477

II - Sols à profils textural peu ou non différencié des formations récentes de la zone sous-pyrénéenne et de la Grausse 488

Pages

III - Sols à profil textural différencié des basses plaines de l'avant-pays molassique 511

IV - Sols du Terrefort molassique 550

V - Sols des basses terrasses de l'avant-pays molassique 5[illegible]2

VI - Sols à horizons caillouteux profonds rubéfiés et arénisés de la zone sous-pyrénéenne 601

VII - Sols à horizons caillouteux profonds argilisés, rubéfiés et colmatés des moyennes et hautes terrasses alluviales

VIII - Sols à horizons caillouteux profonds argilisés, rubéfiés et colmatés des nappes alluviales culminantes 669

IX - Sols des plateaux de piémont 698

Bibliographie 705

Liste des figures 727

Liste des tableaux 731

Table des matières 733

Planche I - Etat de surface de quelques sables quartzeux (1)

1 - Quartz éolien typique. L'arête exposée aux chocs est profondément entaillée par des "V" bien marqués. Les faces planes (à gauche) ne sont affectées que par des marques de percussion beaucoup moins profondes mais nombreuses. La flèche indique la localisation de la figure suivante (loess de Toulouse-Bellevue).

2 - Détail de la figure précédente. Les arêtes des "V" de choc sont très anguleuses et dépourvues de tout indice de polissage. L'éolisation représente donc le dernier stade d'évolution de ce grain.

3 - Quartz à évolution fluviatile. On reconnaît ici l'aspect en "coulées" de la pellicule qui se forme sur les quartz de roches altérées (L. Le RIBAULT, 1971 a). Cette pellicule est visiblement polie par un transport en milieu aqueux (nappe culminante garonnaise, environs de Pujaudran).

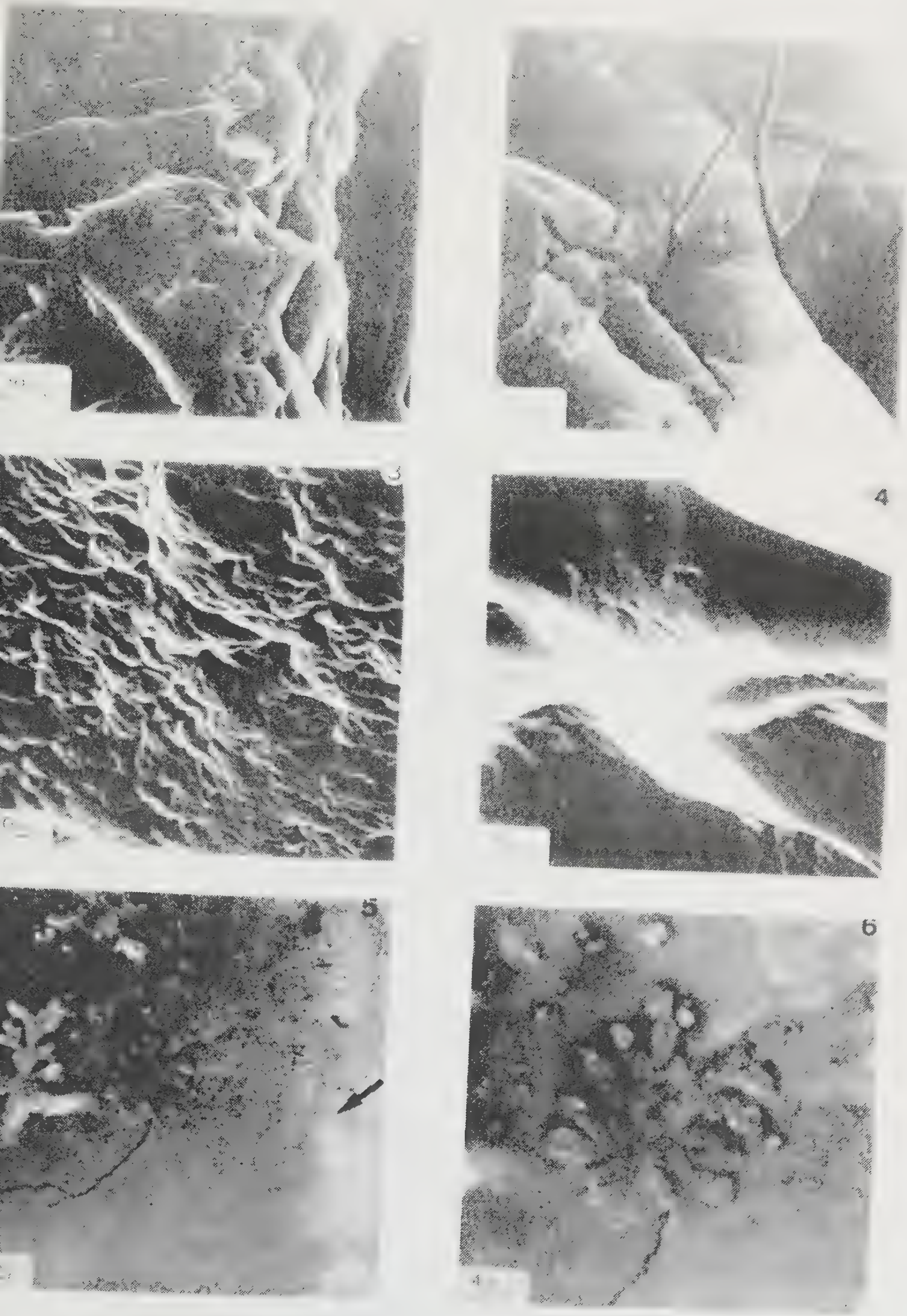
4 - Détail de la figure précédente. Au centre de la photo, on voit des traces de chocs à divers stades de polissage, caractéristiques d'une évolution fluviatile.

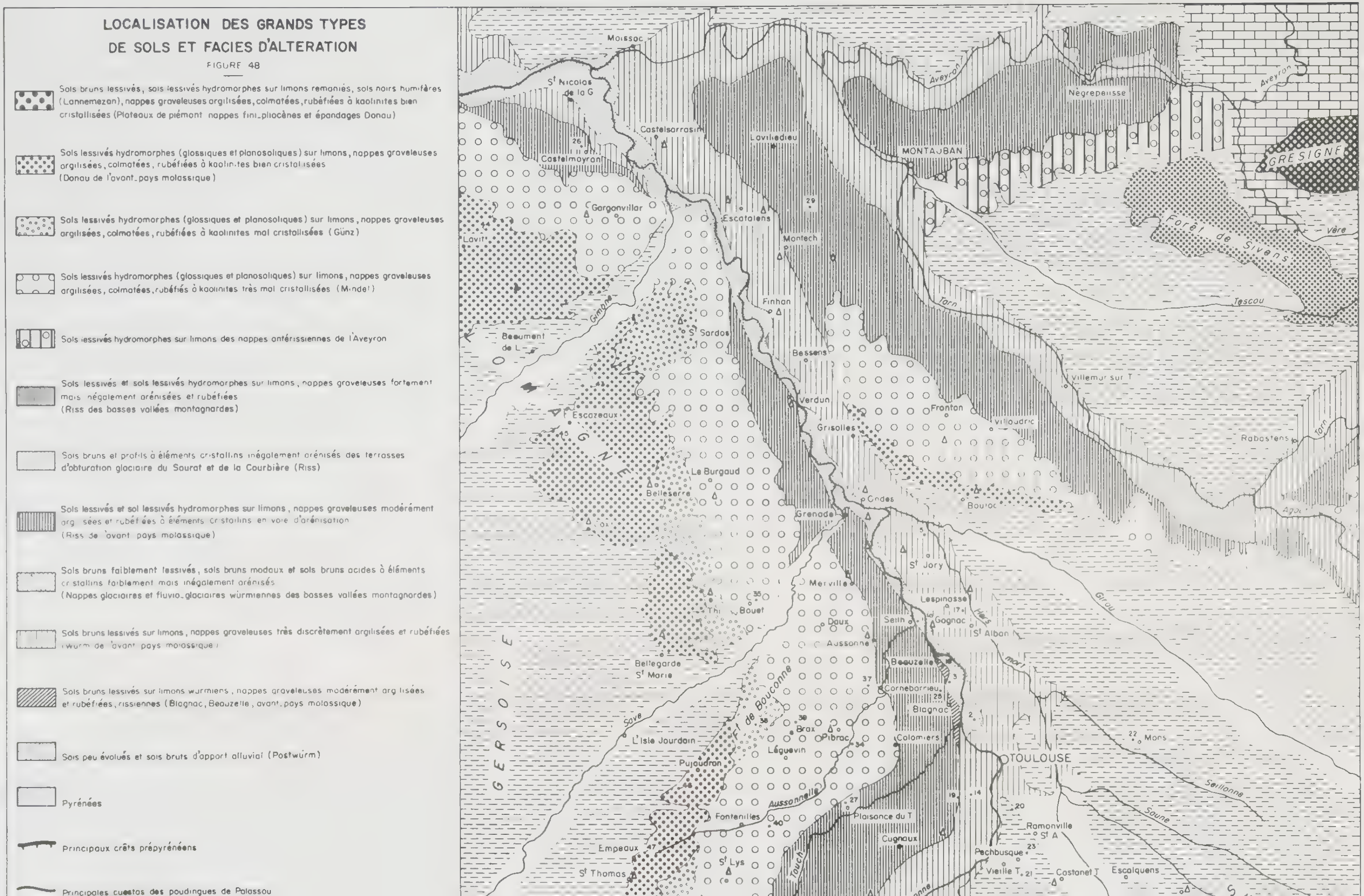
5 - Quartz mis en place par ruissellement. A gauche de la figure, très belles fleurs de silice (L. LE RIBAULT, 1971 a). A droite, léger polissage de l'arête du grain (flèche). Les fleurs étant formées lors de l'altération, il n'est pas impossible que le polissage de l'arête soit hérité d'un transport antérieur à l'altération du grain (Terrefort lauragais, environs de Fourquevaux).

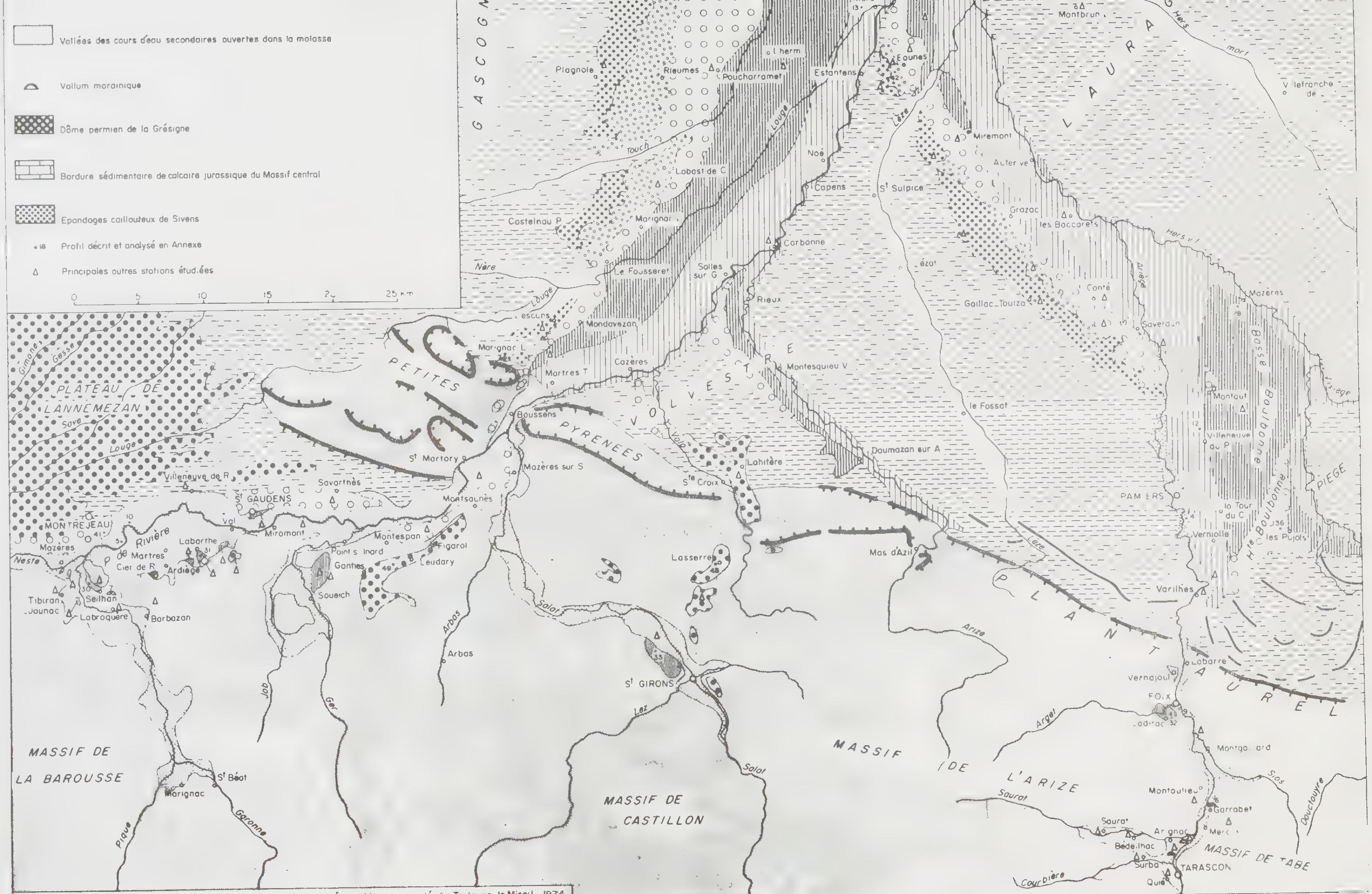
6 - Détail de la figure précédente. La morphologie plane de la fleur montre qu'elle a subi un très léger transport aqueux, sans choc violent (ruissellement diffus, solifluxion).Le grain considéré est donc un quartz fluviatile postérieurement altéré et finalement mis en place par ruissellement.

- - - - - - - - - - - - - - - -

(1) Photos et observations au microscope électronique à balayage de l'UER de Géologie de l'Université de Paris-Sud (Orsay), grâce à l'amabilité de L. LE RIBAULT (in J. HUBSCHMAN et al., 1972).


3
4
5
6


LOCALISATION DES GRANDS TYPES
DE SOLS ET FACIES D'ALTERATION
FIGURE 48
Sols bruns lessivés, sols lessivés hydromorphes sur limons remaniés, sols noirs humifères (Lannemezan), nappes graveleuses argilisées, colmatées, rubéfiées à kaolinites bien cristallisées (Plateaux de piémont nappes fini_pliocènes et épandages Donau)
Sols lessivés hydromorphes (glossiques et planosoliques) sur limons, nappes graveleuses argilisées, colmatées, rubéfiées à kaolinites bien cristallisées (Donau de l'avant_pays molassique)
Sols lessivés hydromorphes (glossiques et planosoliques) sur limons, nappes graveleuses argilisées, colmatées, rubéfiées à kaolinites mal cristallisées (Günz)
Sols lessivés hydromorphes (glossiques et planosoliques) sur limons, nappes graveleuses argilisées, colmatées, rubéfiés à kaolinites très mal cristallisées (Mindel)
Sols lessivés hydromorphes sur limons des nappes antérissiennes de l'Aveyron
Sols lessivés et sols lessivés hydromorphes sur limons, nappes graveleuses fortement mais inégalement arénisées et rubéfiées (Riss des basses vallées montagnardes)
Sols bruns et profils à éléments cristallins inégalement arénisés des terrasses d'obturation glaciaire du Saurat et de la Courbière (Riss)
Sols lessivés et sol lessivés hydromorphes sur limons, nappes graveleuses modérément argilisées et rubéfiées à éléments cristallins en voie d'arénisation (Riss de l'avant pays molassique)
Sols bruns faiblement lessivés, sols bruns modaux et sols bruns acides à éléments cristallins faiblement mais inégalement arénisés (Nappes glaciaires et fluvio_glaciaires würmiennes des basses vallées montagnardes)
Sols bruns lessivés sur limons, nappes graveleuses très discrètement argilisées et rubéfiées (Würm de l'avant pays molassique)
Sols bruns lessivés sur limons würmiens, nappes graveleuses modérément argilisées et rubéfiées, rissiennes (Blagnac, Beauzelle, avant_pays molassique)
Sols peu évolués et sols bruts d'apport alluvial (Postwürm)
Pyrénées
Principaux crêts prépyrénéens
Principales cuestas des poudingues de Palassou
Moissac
St Nicolas de la G
Castelsarrasin
Castelmayran
Lavit
Gargonvillar
Beaumont de L.
Escazeaux
Lavilledieu
Montech
Escatalens
Finhan
St Sardos
Bessens
Verdun
Grisolles
Le Burgaud
Belleserre
MONTAUBAN
Nègrepelisse
GRESIGNE
Forêt de Sivens
Villemur sur T
Villaudric
Fronton
Bouloc
Rabastens
Ondes
Grenade
St Jory
Merville
Bouet
Daux
Aussonne
Lespinasse
Seilh
Gognac
St Alban
Beauzelle
Cornebarrieu
Blagnac
Colomiers
TOULOUSE
Bellegarde St Marie
L'Isle Jourdain
Pujaudran
Ft de Bouconne
Brax
Pibrac
Léguevin
Fontenilles
Plaisance du T
Cugnaux
Empeaux
St Thomas
St Lys
Mons
Ramonville St A
Pechbusque
Vieille T.
Castanet T
Escalquens
Aveyron
Tarn
Tescou
Vère
Agout
Gimone
Save
Girou
Hers
Aussonnelle
Touch
Seillonne
Saune
GERSOISE



Carte dressée par J. HUBSCHMAN, dessinée par L. REY, Institut de géographie, Université de Toulouse-le Mirail, 1974